



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BAKELIT TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT MELAMINA / LDPE  
/ PET SEBAGAI PAVING BLOCK DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE HOT PRESS**

**RAKA BAYU NAWESWARA  
NRP. 025 11 44 0000 004**

**DOSEN PEMBIMBING  
SIGIT TRI WICAKSONO, S.SI., M.SI., PH.D.  
DR. WIDYASTUTI, S.SI., M.SI.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BAKELIT TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT MELAMINA / LDPE  
/ PET SEBAGAI PAVING BLOCK DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE HOT PRESS**

**RAKA BAYU NAWESWARA  
NRP. 025 11 44 0000 004**

**DOSEN PEMBIMBING  
SIGIT TRI WICAKSONO, S.SI., M.SI., PH.D.  
DR. WIDYASTUTI, S.SI., M.SI.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

*(Halaman sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**ANALYSIS EFFECT OF ADDITION BAKELITE TO  
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ON THE  
MALAMINE / LDPE / PET BASED COMPOSITE FOR  
PAVING BLOCK USING HOT PRESS METHODE**

**RAKA BAYU NAWESWARA  
NRP. 025 11 44 0000 004**

**ADVISOR**

**SIGIT TRI WICAKSONO, S.SI., M.SI., PH.D.  
DR. WIDYASTUTI, S.SI., M.SI.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**ANALYSIS EFFECT OF ADDITION BAKELITE TO  
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ON THE  
MELAMINE / LDPE / PET BASED COMPOSITE FOR  
PAVING BLOCK USING HOT PRESS METHODE**

**RAKA BAYU NAWESWARA**  
**NRP. 025 11 44 0000 004**

**ADVISOR**

**SIGIT TRI WICAKSONO, S.SI., M.SI., PH.D.**  
**DR. WIDYASTUTI, S.SI., M.SI.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT**  
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA**  
**2018**

*(This page left intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN BAKELIT  
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT  
MELAMINA/PE/PET SEBAGAI *PAVING BLOCK* DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *HOT PRESS***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RAKA BAYU NAWESWARA**

NRP 02511440000004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir  
Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si., Ph.D.....(Pembimbing I)  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si.....(Pembimbing II)



**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BAKELIT  
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK KOMPOSIT  
MELAMINA / LDPE / PET SEBAGAI PAVING BLOCK  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE HOT PRESS**

**Nama** : Raka Bayu Naweswara  
**NRP** : 02511440000004  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Sigit Tri W, S.Si., M.Si., Ph.D.  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

**Abstrak**

*Penelitian ini berisi tentang salah satu metode yang menjanjikan dalam proses pengolahan sampah plastik dan agregat yaitu metode hot press. Jenis sampah plastik yang akan digunakan adalah jenis sampah plastik yang akan dijadikan bahan baku adalah low-density polyethylene (LDPE) dan polyethylene terephthalate (PET) dengan agregat yang dipakai adalah bakelite dan melamine. Produk komposit yang akan dihasilkan dari penelitian ini adalah berupa beton ringan dengan kekuatan sesuai dengan standar SNI. Pengujian yang dipakai untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik dari komposit adalah SEM, FTIR, uji kompresi, uji densitas, dan uji absorpsi air. Untuk nilai uji kompresi tertinggi adalah 24.13 Mpa dengan penambahan 15%wt bakelit. Untuk nilai densitas terendah adalah 1.0042 g/cm<sup>3</sup> dengan penambahan 15%wt bakelit. Dengan hasil tersebut paving block yang dihasilkan berkualitas B.*

**Kata Kunci:** *Sampah plastik, LDPE, PET, Melamine, Bakelite, Paving Block.*



*(Halaman sengaja dikosongkan)*

# **ANALYSIS EFFECT OF ADDITION BAKELITE TO PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ON THE MELAMINE / LDPE / PET BASED COMPOSITE FOR PAVING BLOCK USING HOT PRESS METHODE**

**Name** : Raka Bayu Naweswara  
**SRN** : 02511440000004  
**Major** : Material Engineering  
**Advisor** : Sigit Tri W, S.Si., M.Si., Ph.D.  
**Lecturer** : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

*Plastic waste has become one of the biggest problem for all people on earth. It's necessary to develop a process to recycle the waste, especially plastic waste. In this research, we discuss about the recycling process of plastic waste using hot press method. The plastic waste that will be recycled is LDPE, PET, Melamine, and Bakelite. The outcome of this research is paving block based on the National Standard of Indonesia. The material and the product will be tested by SEM, FTIR, density test, compression test, and water absorbability test. For the result, the highest compression stress of the product is 24.13 Mpa for 15%wt added bakelite. The lightest density of the product is 1.0042 gram/cm<sup>3</sup> for 15%wt added bakelite. Then, the paving block made by this research has B quality.*

**Keywords:** *Plastic wastes, LDPE, PET, Bakelite, Melamine, Paving block.*

*(This page left intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat hidayah dan inayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Penambahan Bakelit Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit PE / PET / Melamina Sebagai Paving Block Dengan Menggunakan Metode Hot Press”**, sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Joko Partono dan Ibu Darwanti karena telah menjadi orang tua terbaik yang telah memberikan dukungan moril dan materil.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen wali saya selama di jurusan yang telah membimbing dan membantu saya selama kuliah di jurusan Departemen Teknik Material.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Ibu Dr.Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing ke dua saya.
6. Teman-teman lab material inovatif yang selalu bareng-bareng ngobrol bertukar informasi dan saling menemani kalau *running* malam.
7. MT 16 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat dan bantuannya selama 4 tahun terakhir saya di ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan

kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin.

Surabaya, Juli 2018  
Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Polimer .....	5
2.1.1 Polimer Thermoplastik .....	8
2.1.1.1 <i>Polyethylene</i> .....	8
2.1.1.2 <i>Polyethylene Terephthalate</i> .....	9
2.1.2 Polimer Thermosetting .....	10
2.1.2.1 <i>Melamine Resin</i> .....	11
2.1.2.1 <i>Bakelite</i> .....	12
2.2 Plastik .....	13

2.3 Komposit .....	14
2.4 Beton.....	18
2.5 <i>Polymer-Modified Concrete (PMC)</i> .....	24
2.6 <i>Paving Block</i> .....	25
2.7 Proses <i>Hot Press</i> .....	26
2.7.1 Pemanasan Langsung .....	26
2.8 Penelitian Sebelumnya .....	27

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	32
3.2.1 Bahan Penelitian.....	32
3.2.2 Peralatan Penelitian .....	33
3.3. Rancangan Penelitian .....	36
3.4. Metode Penelitian.....	37
3.4.1 Persiapan Bahan .....	37
3.4.1.1 Penanganan Agregat.....	37
3.4.1.2 Pengolahan Sampah Plastik LDPE dan PET .....	37
3.4.1.3 Pembuatan Komposit .....	38
3.4.2 Proses Pengujian.....	38
3.4.2.1 Pengujian SEM.....	38
3.4.2.2 Pengujian FTIR .....	40
3.4.2.3 Uji Densitas .....	41
3.4.2.4 Uji Penyerapan Air .....	42
3.4.2.5 Pengujian Kuat Tekan .....	43

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Bahan Baku .....	45
4.1.1 FTIR .....	45
4.1.2 Densitas dan Kompresi Bahan Baku .....	48
4.2 Analisa Pembuatan <i>Paving Block</i> .....	50
4.2.1 Sebelum Peleburan Bahan Baku .....	50
4.2.2 Peleburan Bahan Baku .....	51
4.3 Analisa Produk <i>Paving Block</i> .....	52
4.3.1 Uji Kompresi .....	52
4.3.2 Uji Densitas dan Porositas.....	53
4.3.3 Uji <i>Water absorbability</i> .....	56
4.3.4 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	57

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61

DAFTAR PUSTAKA .....	xx
----------------------	----

LAMPIRAN .....	xxi
----------------	-----



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ikatan Polymer Karbon Atom.....	5
Gambar 2.2 Tabel Kelompok Hidrokarbon.....	6
Gambar 2.3 Struktur Polimer : a.) <i>linear</i> , b.) <i>branched</i> , c.) <i>crosslinked</i> d.) <i>network</i> .....	9
Gambar 2.4 Struktur Rantai <i>Polyethylene</i> .....	10
Gambar 2.5 Reaksi Pembentukan PET .....	11
Gambar 2.6 Reaksi Pembuatan <i>Melamine</i> .....	12
Gambar 2.7 Reaksi Pembuatan Bakelite .....	13
Gambar 2.8 Skema Klasifikasi Beberapa Tipe Komposit.....	16
Gambar 2.9 Sketsa Komposit Partikel .....	17
Gambar 2.10 Struktur Beton: (1) Agregat kasar, (2) Agregat halus, (3) Semen (Zhang, 2010) .....	19
Gambar 2.11 Paving Block menggunakan <i>Portland cement</i> .....	25
Gambar 2.12 Contoh Skema Proses <i>Direct Hot Press</i> .....	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	31
Gambar 3.2 LDPE .....	32
Gambar 3.3 PET .....	32
Gambar 3.4 Resin Melamin.....	32
Gambar 3.5 Bakelite.....	33
Gambar 3.6 Cetakan .....	33
Gambar 3.7 Timbangan digital.....	34
Gambar 3.8 <i>Blowtorch</i> .....	34
Gambar 3.9 Gerinda potong .....	34
Gambar 3.10 Mesin Scanning Electron Microscope .....	35
Gambar 3.11 Mesin FTIR .....	35

Gambar 3.12 Mesin Uji Kompresi .....	36
Gambar 3.13 <i>Thermogun</i> .....	37
Gambar 3.14 Dimensi spesimen Uji Morfologi .....	39
Gambar 3.15 Prinsip Kerja SEM.....	39
Gambar 3.16 Skema mesin uji FTIR.....	40
Gambar 4.1 Hasil pengujian FTIR bahan baku .....	45
Gambar 4.2 Distribusi Matriks dan Filler.....	50
Gambar 4.3 Penekanan Bahan Baku .....	51
Gambar 4.4 Hasil uji Kompresi.....	53
Gambar 4.5 Hasil Uji Densitas dan porositas.....	55
Gambar 4.6 Hasil Uji Daya Serap Air.....	57
Gambar 4.7 Hasil Uji SEM .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis-jenis beton berdasarkan pemakaian.....	22
Tabel 2.2 Jenis-jenis beton ringan berdasarkan kuat tekan, berat beton, dan agregat penyusun .....	23
Tabel 2.3 Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987).....	24
Tabel 2.4 Tabel Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i> .....	26
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian .....	36
Tabel 3.2 Pengujian Bahan Baku Penelitian .....	36
Tabel 4.1 Daerah serapan PET .....	46
Tabel 4.2 Daerah serapan LDPE .....	46
Tabel 4.3 Daerah serapan Bakelit.....	47
Tabel 4.4 Daerah serapan Melamina.....	48
Tabel 4.5 Nilai Densitas Bahan Baku .....	49
Tabel 4.6 Nilai Daya Kompresi Bahan.....	49
Tabel 4.7 Uji Kompresi .....	52
Tabel 4.8 Uji Densitas Produk .....	54
Tabel 4.9 Uji Porositas .....	54
Tabel 4.10 Water absobability.....	57



## **BAB I** **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan berkembangnya suatu Negara maka akan muncul masalah-masalah yang akan dihadapi oleh Negara tersebut. Hal ini juga tidak dapat dihindari dalam lingkup lingkungan hidup yang menjadi salah satu perhatian Negara yang akan mempengaruhi kemakmuran dan kesejahteraan rakyat. Dalam konteks kali ini adalah sampah, sampah merupakan zat sisa pembuangan dari suatu proses yang tidak diinginkan. Dalam kehidupan sehari-hari, banyak sampah yang dibuang ke lingkungan dari berbagai sektor. Mulai dari sampah plastik, sampah B3, maupun sampah sisa rumah tangga. Namun, yang menyita perhatian untuk setiap Negara didunia adalah sampah plastik. Dengan minimnya pengolahan sampah plastik dalam suatu Negara akan menyebabkan menurunnya kesejahteraan rakyatnya akibat sampah yang menumpuk. Sampah plastik normalnya memerlukan waktu penguraian selama 10-1000 tahun berdasarkan jenis plastiknya.

Berdasarkan data dari National Geography, dunia menghasilkan 8.3 miliar ton sampah dan 6.3 miliar ton dari sampah tersebut adalah sampah plastik. Dari jumlah sampah plastik tersebut, hanya 9% yang sudah di-*recycle* dan sisanya masih berada di tempat penampungan sampah ataupun mengambang dilautan. Apabila tren ini masih terus berkelanjutan, jumlah sampah akan meningkat sampai 12 miliar ton pada tahun 2050. Di Indonesia plastik juga menjadi masalah yang belum ditemukan solusi efektif nya. Indonesia menjadi negara penghasil sampah plastik terbesar ke-dua di dunia setelah Cina dengan produksi sampah plastik sebesar 65 juta ton per tahunnya.

---



---

Dari jumlah sampah plastik yang terdapat di Indonesia, plastik yang paling banyak dibuang adalah plastik jenis *Low-Density Polyethylene* yang biasanya digunakan sebagai bahan untuk kantong plastik dan *Polyethylene Terephthalate* yang biasa digunakan sebagai bahan untuk botol plastik. Plastik memiliki beberapa sifat keunggulan yaitu tahan korosi, tahan lama, isolator yang baik, murah, dan fabrikasi yang mudah. (Tapkire & Parihar, 2014)

Berdasarkan sifat-sifat diatas, salah satu metode daur ulang sampah plastik yang memiliki potensi tinggi secara ekonomi adalah pengolahan limbah plastik menjadi komponen sipil. Produk yang berpotensi untuk menggunakan plastik sebagai bahan dasarnya adalah beton, *paving block*, ubin, genteng, dan dinding. Bahan bangunan dapat dibuat dari material komposit dengan menggunakan bahan plastik sebagai *binder* (Fowler, 1999). Diharapkan melalui adanya riset dalam pengolahan limbah plastik menjadi material bangunan ini dapat mengurangi jumlah plastik yang ada dalam skala yang besar. Dan diharapkan juga dengan adanya riset tentang pengolahan limbah plastik menjadi material konstruksi ini dapat dijadikan inspirasi dan referensi yang baik untuk orang-orang atau perusahaan yang dapat menciptakan industri pengolahan limbah plastik yang memiliki banyak manfaat.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan bakelite terhadap sifat mekanis dan sifat fisik material komposit yang terbuat dari campuran sampah *Low-Density Polyethylene*, *Polyethylene Terephthalate*, dan *Melamine*?



2. Bagaimana komposisi material komposit yang sesuai dengan standar SK SNI 03-0691-1996 dan SK SNI 03-3449-2002?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Kadar uap air dan gas pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
2. Pengotor pada saat pencampuran polimer dan agregat dapat diabaikan.
3. Distribusi partikel dianggap merata.
4. Daya tekan dan temperature pemanasan yang dipakai untuk proses *hot press* untuk setiap benda uji dianggap sama.
5. Ukuran agregat yang dipakai dianggap sama.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh penambahan bakelit terhadap sifat fisis dan sifat mekanik komposit yang terbuat dari campuran LDPE, PET, dan Melamin.
2. Mengetahui komposisi yang memenuhi standar SK SNI 03-0691-1996 dengan kualitas minimal B dan Standar SK SNI 03-3449-2002 untuk struktur ringan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menciptakan komposit yang dapat memenuhi kebutuhan material konstruksi dengan penggunaan limbah plastik sebagai pengikat.



- 
2. Memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan dari pembuatan komposit yang dapat memberikan dampak positif kepada lingkungan dengan adanya pengurangan plastik dalam jumlah besar.
  3. Dapat dijadikan alternatif untuk pengolahan limbah plastik yang efisien dan ramah lingkungan.
  4. Menjadi solusi permasalahan sampah yang dapat dijadikan peluang usaha yang dapat membuka lapangan kerja.
  5. Sebagai acuan penelitian yang berkaitan di masa yang akan datang.

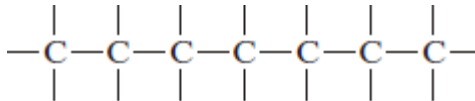




## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Polimer

Molekul polimer disebut makromolekul karena molekulnya yang berukuran besar. Setiap molekulnya terikat satu sama lain melalui ikatan interatomic kovalen. **Gambar 2.1** menunjukkan bagaimana atom Karbon saling berikatan satu sama lain membentuk ikatan polimer.


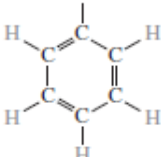


**Gambar 2.1** Ikatan Polymer Karbon Atom (Callister, 2007)

Molekul-molekul panjang ini terbentuk dari satu kesatuan yang disebut *repeat units* yang tersusun berulang membentuk suatu rantai ikatan. Monomer adalah molekul kecil di mana polimer akan disintesa. **Gambar 2.2** menunjukkan pembagian kelompok ikatan Hidrokarbon beserta bentuk ikatan polimernya. Di antaranya adalah alkohol, ether, asam, aldehida, dan aromatik.

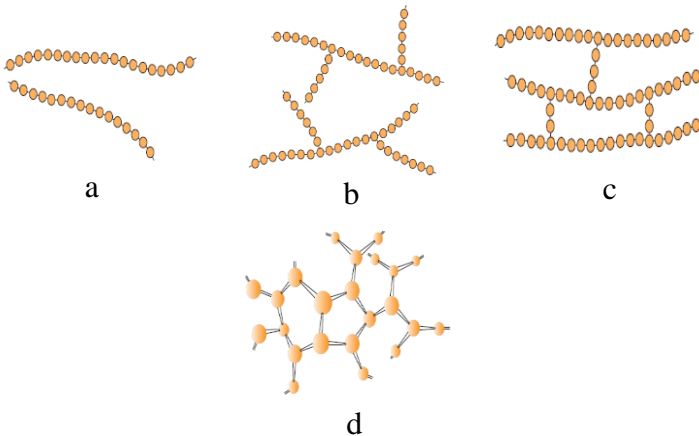


<i>Family</i>	<i>Characteristic Unit</i>		<i>Representative Compound</i>
Alcohols	$R-OH$	$\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-OH \\   \\ H \end{array}$	Methyl alcohol
Ethers	$R-O-R'$	$\begin{array}{c} H & & H \\   & &   \\ H-C-O-C-H \\   & &   \\ H & & H \end{array}$	Dimethyl ether
Acids	$\begin{array}{c} OH \\   \\ R-C \\    \\ O \end{array}$	$\begin{array}{c} H & & OH \\   & &   \\ H-C-C \\   & &    \\ H & & O \end{array}$	Acetic acid
Aldehydes	$\begin{array}{c} R \\   \\ C=O \\   \\ H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\   \\ C=O \\   \\ H \end{array}$	Formaldehyde
Aromatic hydrocarbons	$\begin{array}{c} R \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} OH \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	Phenol

"The simplified structure  denotes a phenyl group, 

**Gambar 2.2** Kelompok Hidrokarbon (Callister, 2007)

Karakteristik fisik dari polimer tidak hanya tergantung oleh berat molekul dan bentuknya, namun juga dari perbedaan pada struktur dari rantai molekul nya.



**Gambar 2.3** Struktur Polimer : a.) *linear*, b.) *branched*, c.) *crosslinked* d.) *network* (University of York Centre, 2016)

Polimer linear adalah jenis polimer yang *repeat unit* nya disambungkan bersama-sama pada ujung-ujungnya. **Gambar 2.3.a** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur linear. Polimer jenis ini memiliki karakteristik yang flexibel. Beberapa jenis polimer linear adalah *polyethylene*, *poly(vinyl chloride)*, *polystyrene*, *poly(methyl methacrylate)*, nilon dan, *fluorocarbons*.

Polimer *branched* atau adalah jenis polimer yang memiliki *side-branch chain* yang terhubung dengan inti dari rantai polimer lainnya. **Gambar 2.3.b** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *branched*. Polimer jenis memiliki karakteristik berikatan dengan bercabang ke rantai yang lainnya. Beberapa jenis polimer linear juga dapat dikategorikan sebagai polimer bercabang seperti *High Density Polyethylene* (HDPE). Pada polimer jenis *crosslinked* rantai linear yang berseberangan berikatan satu sama lain pada beberapa posisi.

**Gambar 2.3.c** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *crosslinked*. Rantai-rantai polimer



---

berikatan karena adanya ikatan kovalen. *Crosslinking* biasanya dapat dihasilkan dengan penambahan zat atom ataupun molekul aditif yang dapat berikatan secara kovalen dengan rantai. Proses ini biasa disebut dengan nama vulkanisasi. Polimer jenis ini kebanyakan memiliki *properties* yang elastis seperti karet.

**Gambar 2.3.d** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *network*. Struktur polimer *network* terjadi ketika *multifunctional* monomer membentuk tiga atau lebih ikatan kovalen aktif yang membuat jaringan tiga-dimensi. Polimer yang sangat *crosslink* juga dapat dikategorikan sebagai polimer *network*. Polimer jenis ini memiliki sifat mekanik dan sifat thermal yang spesifik. Beberapa contoh polimer jenis ini adalah epoxy dan *polyurethane*. (Callister, 2007)

### 2.1.1 Polimer Thermoplastik

Respon dari polimer terhadap gaya mekanik pada temperatur yang tinggi memiliki hubungan dengan struktur dominan dari polimer tersebut. Berdasarkan perilaku polimer pada temperatur tinggi, polimer diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Pada *thermoplastic* polimer, ketika dipanaskan akan melunak dan ketika didinginkan akan mengeras. Prosesnya dapat dibalik dan dapat diulang.

Pada temperatur yang tinggi gaya ikatan sekunder pada polimer melemah dan pergerakan molekul meningkat. Polimer jenis *thermoplastic* cenderung lunak. Berdasarkan struktur molekulnya polimer linear dan beberapa *branched polymer* yang memiliki rantai yang flexibel termasuk ke dalam kategori *thermoplastic*. Beberapa contoh *thermoplastic* yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah *polyethylene*, PET, dan PVC. (Callister, 2007)

#### 2.1.1.1 Polyethylene

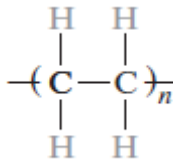
*Polyethylene* adalah polimer thermoplastik dan jenis plastik yang paling umum dan paling banyak digunakan oleh manusia. Plastik *polyethylene* dipakai untuk pembuatan kantong

---



plastik, kemasan makanan, botol minuman, dan lain-lain. Beberapa keunggulan dari *polyethylene* adalah ringan, ketahanan kimia yang baik, dan ketangguhan yang baik. *Polyethylene* sangat mudah untuk diproduksi *injection molding*, *sheet extrusion*, *film extrusion*, dan lain-lain.

*Polyethylene* jenisnya sangat banyak seperti *low-density polyethylene* (LDPE), *linear low-density polyethylene* (LLDPE), *high-density polyethylene* (HDPE), dan *ethylene copolymer* seperti *ethylene-vinyl acetate* (EVA), *ethylene-ethyl-acrylate* (EEA), dan *ultra-high-molecular-weight polyethylene* (UHMWPE). (Brady & Clauser)



**Gambar 2.4** Struktur Rantai *Polyethylene* (Callister, 2007)

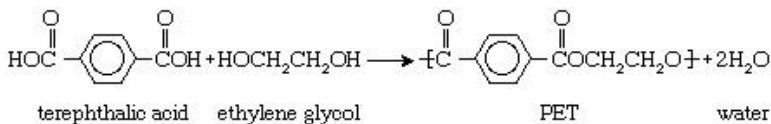
Bentuk dasar dari *polyethylene* adalah atom Hidrogen dan Karbon. **Gambar 2.4** menunjukkan struktur rantai dari *polyethylene*. Atom-atom ini tergabung dari monomer *ethylene* yang berulang-ulang berupa  $\text{C}_2\text{H}_4$  yaitu dua atom Karbon dan empat atom Hidrogen. Pada proses polimerisasi, ikatan ganda menghubungkan atom Karbon terpecah. Pada kondisi yang baik, ikatan ini akan terbentuk ulang dengan molekul monomer *ethylene* untuk membentuk ikatan molekul yang panjang. Jenis polimer *polyethylene* yang akan dipakai adalah *low-density polyethylene* yang sering digunakan untuk membuat sampah plastik. (Brady & Clauser)

#### 2.1.1.2 *Polyethylene Terephthalate* (PET)

*Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah jenis polimer yang masuk ke dalam jenis *polyester*. PET memiliki sifat yang kuat



dan kaku. PET banyak sekali digunakan untuk material pengemas. Botol minuman dan nampan makanan untuk *microwave* adalah aplikasi paling penting dari PET. PET resin terbuat dari *ethylene glycol* dan *terephthalic acid* atau *dimethyl ester* dari *terephthalic acid*. Orientasi dari PET adalah meningkatkan kekuatan tarik dan *water vapor transition* secara signifikan. (Mendivil-Escalante & Gomez Soberon, 2015)



**Gambar 2.5** Reaksi Pembentukan PET (Weinhemm, 2005)

**Gambar 2.5** menunjukkan proses reaksi pembentukan PET. Keberadaan *aromatic ring* yang besar pada *repeating unit* PET memberikan kekuatan dan kekakuan pada PET. Kekakuan pada serat PET membuatnya sangat tahan terhadap deformasi. Pada berat molekul yang lebih besar, PET dapat dibuat menjadi plastik berkekuatan tinggi yang dapat dibentuk dengan beberapa metode umum yang biasa dilakukan untuk thermoplastik lainnya. (Margolis, 2006)

### 2.1.2 Polimer Thermosetting

Polimer thermosetting adalah jenis dari polimer yang ketika dipanaskan tidak melunak. Polimer jenis ini mengeras secara permanen pada pembentukannya. Berdasarkan struktur molekul nya polimer thermosetting adalah *network polymer* yang memiliki mechanical dan thermal *properties* yang spesifik.

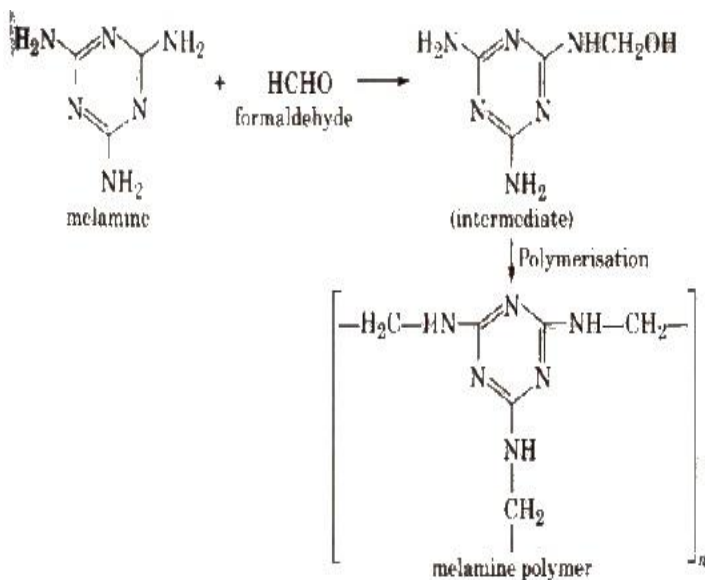
Pada saat perlakuan panas, ikatan pada rantai polimer *thermoset* akan menguatkan diri satu sama lain pada rantainya untuk menahan pergerakan vibrasi dan rotasi. Maka dari itu, polimer thermosetting dapat tetap stabil dan tidak melunak meskipun dihadapkan pada temperatur yang tinggi. Namun pada temperatur yang berlebihan polimer thermosetting akan berubah



bentuk dan terdegradasi. Polimer jenis ini lebih keras dan lebih kuat dibandingkan dengan polimer thermoplastik. Beberapa contoh polimer thermosetting adalah *vulcanized rubbers*, *epoxies*, dan polyester resin. (Callister, 2007)

### 2.1.2.1 Melamine Resin

*Melamine* adalah jenis polimer yang termasuk ke dalam jenis *thermoseting*. *Melamine* memiliki sifat yang keras dan getas. *Melamine* sering digunakan sebagai material untuk peralatan makan, seperti piring, gelas, dan mangkok. *Melamine* dapat terbentuk dari reaksi antara *cyanuric acid* yang akan dikondensasi dengan *ammonia* untuk membentuk *melamine*. (Krik-Othmer, 1978). Sedangkan untuk *melamine* resin terbentuk dari senyawa *formaldehide* dan *melamine* dimana senyawa *formaldehide* berfungsi sebagai *crosslinker*. (David, 1986). Skema pembuatan *Melamine* ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



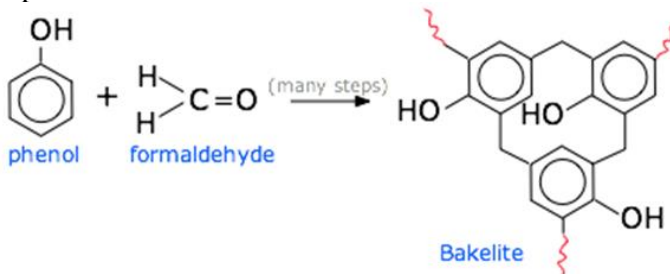
**Gambar 2.6** Reaksi Pembuatan *Melamine* (Kirk-Orther, 1978)



### 2.1.2.2 *Bakelite*

*Bakelite* merupakan salah satu jenis polimer yang termasuk kedalam golongan *Thermoseting* yang memiliki sifat getas. *Bakelite* sering digunakan untuk material isolator listrik, radio, peralatan masak, rangka telepon, dan mainan anak. *Bakelite* memiliki sifat mekanik yang lebih bagus daripada melamin. sehingga, penambahan *bakelite* diharapkan dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik komposit.

*Bakelite* diproduksi masal dengan pemanasan *phenol* dan *formaldehyde* yang menggunakan katalis *ammonia* yang akan menghasilkan cairan yang bernama *bakelite A*. kemudian dipanaskan sampai temperatur 150°C dibawah tekanan. (Patrick, Selessor, & Catherine, 1998). Skema pembuatan *Bakelite* dtunjukan pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** Reaksi Pembuatan Bakelite (Patrick, 1998)

## 2.2 Plastik

Plastik adalah material yang mengandung satu atau lebih polimer yang memiliki berat molekul yang besar. Plastik terdiri dari beberapa jenis seperti sintetis atau semi-sintetis senyawa organik yang dapat ditempa sehingga bisa dibentuk atau dituang ke dalam objek yang padat. Melihat ke permasalahan global tentang polusi lingkungan yang disebabkan oleh sampah plastik, usaha dalam melakukan riset telah difokuskan untuk mengurangi jumlah sampah plastik dalam jumlah yang banyak dengan cara yang efisien dan ramah lingkungan.





Para ilmuwan merencanakan untuk menggunakan sampah plastik sebagai bahan dalam pembuatan beton dan beton adalah material paling dicari kedua oleh manusia setelah air. Kegunaan dari sampah plastik pada beton tidak hanya akan membuat metode pembuangannya menjadi aman namun juga dapat meningkatkan *properties* dari beton itu sendiri seperti kekuatan tarik, ketahanan kimia, *drying shrinkage*, dan *creep* dalam basis yang pendek dan panjang. (Tapkire & Parihar, 2014)

Mengapa plastik: Polimer memiliki beberapa sifat yang penting yang dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan *properties* dari bahan konstruksi :

- Tahan terhadap korosi
- Isolator dingin, panas yang baik
- Ekonomis dan memiliki *lifespan* yang panjang
- Tidak memerlukan *maintenance*
- Higienis dan bersih
- Pembuatan/pemasangan yang mudah
- Berat yang ringan

### 2.3 Material Komposit

Material komposit adalah multifasa material yang terdiri dari dua jenis bahan atau lebih yang terikat secara fisika. Dengan penggabungan dua material atau lebih yang berbeda maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik yang lebih unggul dari material tersebut. Material komposit terdiri dari dua fasa yaitu matrix yang bersifat kontinu dan mengelilingi fasa lainnya. Dan juga fasa *reinforce* sebagai fasa diskontinu yang berfungsi sebagai pelindung dan penguat dari matrix.

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Komposit Partikel, yaitu komposit yang tersusun atau matriks kontinyu dan penguat (reinforced) yang diskontinyu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers.



2. Komposit Serat, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinyu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber
3. Komposit Laminat, yaitu komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi dari lamina-lamina dengan material yang berbeda di mana lapisan saling terikat.

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. *MMC: Metal Matriks Composite* (menggunakan *matriks* logam) Metal Matriks Composite adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam.
2. *CMC: Ceramic Matriks Composite* (menggunakan *matriks* keramik) CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik.
3. *PMC: Polymer Matriks Composite* (menggunakan *matriks* polimer). Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan.

### **2.3.1 Komponen Komposit**

#### **a) Serat**

Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filamen, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15  $\mu\text{m}$ , sehingga dapat diproses lebih lanjut. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Serat pendek, dengan panjang fraksi dalam milimeter atau beberapa centimeter. Contohnya *felts*, *mats*, dan serat pendek untuk *injection molding*.
2. Serat panjang, dipotong selama proses fabrikasi material komposit, biasanya berupa anyaman (*woven*).

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada



material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

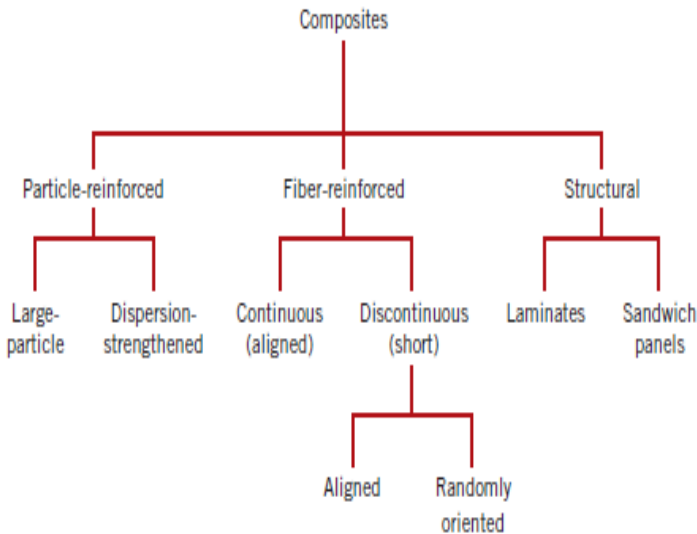
Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya.

#### **b) Matriks**

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik.

#### **2.3.2 Komposit Partikulat**

Komposit berdasarkan jenis filler nya terbagi menjadi tiga macam yaitu komposit partikulat, komposit serat, dan komposit struktural. **Gambar 2.8** menunjukkan klasifikasi komposit.



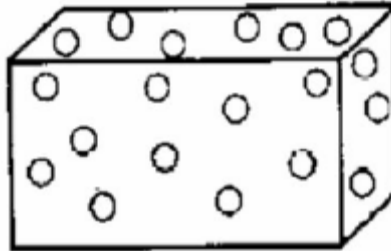
**Gambar 2.8** Skema Klasifikasi Beberapa Tipe Komposit (Callister, 2007)

*Large particle* dan *Dispersion-strengthened* adalah subklasifikasi dari *particle-reinforced composite*. Perbedaan dari kedua jenis komposit ini ada pada mekanisme penguatannya. Pada komposit *large particle* interaksi antara partikel dan matrix nya tidak dapat dilakukan pada level atomik ataupun molekular. *Particle-reinforced composite* biasanya lebih keras dan lebih kaku dari material matrix nya. Partikel penguat cenderung menahan gerakan pada fasa matrix di setiap partikel. Kenaikan *properties* mekanik dari komposit tergantung pada seberapa kuatnya ikatan antara *interface* antara *matrix* dan partikel nya.

Untuk *dispersion-strengthened composite interface* antara matrix dan partikel yang menyebabkan penguatan terjadi pada level atomik atau molekular. Mekanisme penguatannya mirip dengan *precipitation hardening* di mana matrix menerima sebagian



besar tegangan yang diberikan lalu partikel-partikel kecil terdispersi menghalangi gerakan dislokasi. Maka dari itu, kekerasan dan kekuatan tarik dari komposit tersebut akan naik. (Wessel, 2004)



**Gambar 2.9** Sketsa Komposit Partikel (Wessel, 2004)

**Gambar 2.9** menunjukkan skema komposit partikel. Komposit jenis partikel biasa digunakan pada bahan konstruksi karena memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki kekuatan yang seragam pada segala arah, dan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material dengan tetap menjaga berat yang ringan.

### 2.3.3 *Rule of Mixtures*

*Rule of Mixtures* merupakan salah satu cara untuk menghitung kemungkinan sifat mekanik dari suatu material komposit. *Rule of Mixtures* dapat digunakan untuk menghitung sifat mekanik, sifat fisik, konduktivitas elektrik, dan sifat panas dari komposit berdasarkan fraksi antara *fiber/reinfortment* dan *matriks* yang dipakai untuk menyusun komposit. (Alger, 1997). Rumus *rule of mixtures* ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$E_c = (F_m \times E_m) + (F_f \times E_f) \dots \dots \dots (2.1)$$



$E_c$  = Sifat material komposit

$E_m$  = Sifat material matriks

$E_f$  = Sifat material filler

$F_m$  = Fraksi volume matriks

$F_f$  = Fraksi volume filler

## 2.4 Beton

Beton adalah sejenis batu buatan manusia yang terbuat dari pencampuran antara *gel materials*, agregat kasar-halus, dan air dengan rasio yang proporsional yang akan mengeras dan memadat. *Concrete* atau beton adalah salah satu material konstruksi yang sering digunakan untuk pembuatan struktur bangunan.

Beton ini sebenarnya adalah salah satu jenis dari komposit *large-particle*. Beton adalah material komposit yang terdiri dari partikel agregat yang terikat pada *solid body* dengan sebuah medium berupa sement. Jenis polimer yang paling banyak ditemukan adalah yang terbuat dari semen *Portland* dan *Asphaltic* di mana agregatnya berupa kerikil dan pasir. (Zhang, 2010)

### 2.4.1 Klasifikasi Beton

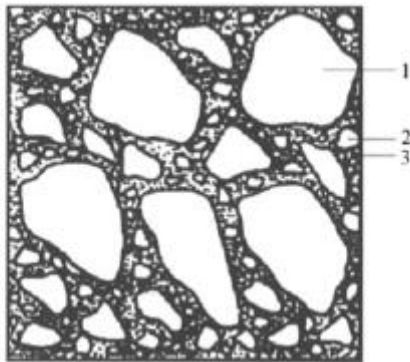
Berdasarkan jenis semen: beton semen, beton gipsium, beton aspal dan beton polimer.

1. Berdasarkan massa jenis: beton berat (massa jenis  $> 2500 \text{ kg/m}^3$ ), beton biasa (massa jenis  $1900 \text{ kg/m}^3$ - $2500 \text{ kg/m}^3$ ), beton ringan (massa jenis dari  $600 \text{ kg/m}^3$ - $1900 \text{ kg/m}^3$ ), dan beton super ringan (massa jenis  $< 600 \text{ kg/m}^3$ ).
2. Berdasarkan aplikasinya, ada: beton struktural, beton hidrolik, beton hias, dan beton khusus (tahan panas, tahan asam, tahan alkali, dan beton anti radiasi dan sebagainya).
3. Berdasarkan metode konstruksi, ada: beton pompa, beton semprot, beton pemadatan bergetar, beton sentrifugal dan sebagainya.
4. Dengan campuran, ada: beton fly ash, beton silika, ledakan halus beton terak tungku, beton serat, dan lain-lain.



#### 2.4.2 Beton Semen Portland

Bahan-bahan untuk beton ini adalah semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Partikel agregat bertindak sebagai material *filler* untuk mengurangi keseluruhan biaya produk beton karena harganya yang murah, karena harga semen yang relatif mahal. Untuk mendapatkan kekuatan dan *workability* optimum pada campuran beton, bahan harus ditambahkan dalam proporsi yang benar.



**Gambar 2.10** Struktur Beton: (1) Agregat kasar, (2) Agregat halus, (3) Semen (Zhang, 2010)

Partikel pasir halus harus mengisi ruang kosong di antara kerikil partikel yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**. Biasanya agregat ini terdiri dari antara 60% dan 80% dari total volume. Jumlah dari campuran air dan semen harus cukup untuk melapisi semua pasir dan partikel kerikil, jika tidak, ikatan semen tidak akan lengkap. Selanjutnya, semua konstituen harus dicampur secara menyeluruh. Pengikatan yang sempurna antara semen dan partikel agregat bergantung pada penambahan jumlah air yang benar. Terlalu sedikit air menyebabkan ikatan tidak sempurna, dan jika terlalu banyak maka akan menghasilkan porositas yang berlebihan.

Beton semen portland adalah salah satu material konstruksi paling umum digunakan, terutama karena bisa dituang



dan mengeras pada temperatur kamar, dan bahkan pada saat terendam di air. Namun, sebagai material struktural untuk bangunan, ada beberapa keterbatasan dan kerugian. Seperti kebanyakan keramik, beton semen portland relatif lemah dan sangat rapuh. Kekuatan tariknya kira-kira 10 sampai 15 kali lebih kecil dari kekuatan tekannya. Selain itu, struktur beton besar dapat mengalami pemuaian thermal dan kontraksi dengan naik turunnya temperatur. Air juga dapat menembus ke pori-pori luar, yang bisa menyebabkan retak hebat dalam dingin cuaca sebagai konsekuensi siklus pembekuan-pencairan. Sebagian besar kekurangan ini dapat dihilangkan atau diperbaiki dengan penambahan zat aditif. (Zhang, 2010)

### **2.4.3 Reinforced Concrete**

Kekuatan dari beton semen portland dapat ditingkatkan dengan penambahan penguat berupa batang baja, ataupun kabel digabungkan ke dalam struktur dari beton tersebut. *Reinforcement* menambahkan struktur penguat yang dapat menahan tegangan tarik, kompresi, maupun geser. Baja dapat bertindak sebagai bahan penguat yang karena koefisien pemuaian thermalnya yang hampir sama dengan beton. Selain itu, pada lingkungan semen, baja tidak cepat terkorosi dan ikatan perekat yang kuat akan terbentuk antara baja dan beton tersebut. Semen beton Portland juga dapat diperkuat dengan mencampur serat bahan dari bahan yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi seperti kaca, baja, nilon, dan *polyethylene*. (Zhang, 2010)

### **2.4.4 Karakteristik Beton**

- 1) Cocok digunakan untuk: campuran yang memiliki plastisitas yang baik yang dapat dicetak menjadi komponen dan struktur dalam berbagai bentuk dan ukuran.
- 2) Murah: bahan baku berlimpah dan tersedia. Lebih dari 80% dari komposisi beton adalah pasir dan batu yang melimpah, konsumsi energi rendah, dan sesuai dengan prinsip ekonomi.





- 3) Kekuatan tinggi dan tahan lama: kekuatan beton biasa adalah 20 – 55 MPa dengan daya tahan yang baik.
- 4) Mudah disesuaikan: beton dengan kegunaan yang berbeda-beda dapat dibuat hanya dengan mengubah variasi jenis dan jumlah kuantitas material penyusunnya untuk memenuhi berbagai tuntutan proyek. Batang baja dapat ditambahkan ke beton untuk meningkatkan kekuatannya, dan jenis beton ini adalah salah satu jenis material komposit (beton bertulang) yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lengkung untuk memenuhi kebutuhan berbagai macam struktur.
- 5) Ramah lingkungan: beton dapat memanfaatkan limbah industri secara penuh, seperti terak, *fly ash* dan lainnya untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Kekurangan utamanya adalah bobot mati yang tinggi, kekuatan tarik yang rendah, rapuh, dan mudah retak.

#### **2.4.5 Beton Ringan**

Beton ringan merupakan beton yang mempunyai berat jenis beton yang lebih kecil dari beton normal. Pada dasarnya, semua jenis beton ringan dibuat dengan rongga dalam beton dengan jumlah besar. Menurut SNI-03- 2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Oleh karena itu, berdasarkan cara mendapatkan beton ringan menurut Tjokrodimuljo (1996), beton ringan dapat dibedakan menjadi 3 jenis dasar sebagai berikut :

1. Beton agregat ringan.
2. Beton busa.
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir).

Menurut Tjokrodimuljo (2003), beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis beton antara 1000-2000 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya beton dapat



dikelompokkan menjadi empat kelompok seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.1**

**Tabel 2.1** Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton ( $\text{kg/m}^3$ )	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1000	Non Struktur
Beton ringan	1000-2000	Struktur ringan
Beton normal	2300-2500	Struktur
Beton berat	> 3000	Perisai sinar X

Menurut SK SNI 03-3449-2002 beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan beton dengan berat jenis di bawah  $1850 \text{ kg/m}^3$  dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan dengan tujuan struktural kuat tekan minimum 17,24 MPa dan maksimum 41,36 MPa. Sedangkan beton isolasi adalah beton ringan yang mempunyai berat isi kering oven maksimum  $1440 \text{ kg/m}^3$ . Dengan kuat tekan maksimum 17,24 MPa dan kuat tekan minimumnya adalah 6,68 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

**Tabel 2.2** Jenis-Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu
Minimum	17,24	1400	
Maksimum	41,36	1850	



			serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau batu terbang
Struktural ringan			Agregat mangan alami seperti scoria atau batu apung
Minimum	6,89	800	
Maksimum	17,24	1400	
Struktur sangat ringan, sebagai isolasi, maksimum		800	Pendit atau vermikulit

Menurut Dobrowolski (1998), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Menurut Neville dan Brooks (1987), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Jenis-jenis beton ringan menurut Dobrowolski (1998) dan Neville dan Brooks (1987) dapat dikelompokkan sesuai **Tabel 2.2** di bawah ini.

**Tabel 2.3** Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987)

Sumber	Jenis Beton Ringan	Berat Jenis Beton ( $\text{kg/m}^3$ )	Kuat Tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton dengan berat jenis rendah	240-800	0,35-6,9
	Beton ringan dengan kekuatan menengah	800-1440	6,9-17,3
	Beton ringan stuktural	1440-1900	> 17,3
	Beton ringan penahan panas	< 800	0,7-7



Neville and Brooks (1987)	Beton ringan untuk pemasangan batu	500-800	7,0-14,0
	Beton ringan struktur	1400-1800	> 17

## 2.5 *Polymer-Modified Concrete (PMC)*

PMC, atau yang biasa dikenal dengan *Latex-Concrete Modified* (LMC), dikembangkan dengan mencampur dispesi polimer (latex) dengan campuran beton semen Portland dengan tujuan untuk meningkatkan karakteristik dari beton. Penggunaan latex pada PMC sudah dilakukan sejak tahun 1950-an. Beton semen standard adalah material yang getas. Dengan penambahan polimer pada campuran akan meningkatkan fleksibilitas dari beton.

*Styrene-butadiene* (SBR) latex telah banyak digunakan untuk lapisan atas dari lantai dan juga jembatan, walaupun membutuhkan ketebalan minimum sebesar 30 mm. Keunggulannya adalah pada kekuatan ikatan yang baik pada beton dan permeabilitas yang rendah. Latex akrilik telah banyak digunakan untuk produksi mortar yang dapat disemprotkan pada *finishing* pada bangunan.

*Curing* pada kondisi basah, seperti *water immersion* ataupun *moist curing* dapat merusak beton jenis ini. PMC membutuhkan metode *curing* yang berbeda. *Properties* terbaik didapatkan dengan kombinasi metode kering dan basah. (Frigione, 2010)

## 2.6 *Paving Block*

Bata Beton (*Paving Block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. *Paving block* sangat sering dijumpai di wilayah jalanan, pelataran parkir, ataupun halaman rumah di seluruh dunia. **Gambar 2.11** adalah bentuk *paving block* yang sering beredar di pasaran.



**Gambar 2.11** *Portland cement* (Suswanto, 2017)

*Paving Block* diklasifikasikan ke dalam empat jenis sesuai dengan penggunaannya:

- Bata beton mutu A: digunakan untuk jalan
- Bata beton mutu B: digunakan untuk pelataran parkir
- Bata beton mutu C: digunakan untuk pejalan kaki
- Bata beton mutu D: digunakan untuk taman

**Tabel 2.4** Tabel Klasifikasi Mutu *Paving Block* (SK SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air Rata-rata maks.
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10



## 2.7 Proses *Hot Press*

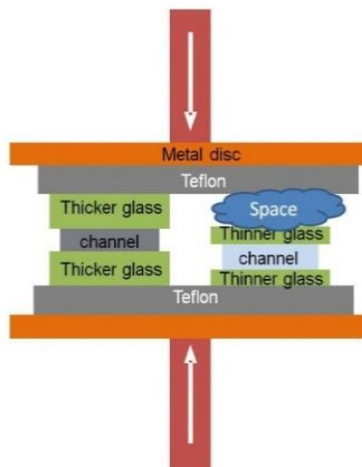
Proses *Hot Press* atau *Hot Pressing* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam *powder metallurgy* yang bertujuan meningkatkan pembentukan kontak antar partikel pada temperatur tertentu. Proses *Hot Press* biasa digunakan untuk pembuatan material yang memiliki sifat keras dan getas. (German, 2005)

Proses *hot press* yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah :

### 2.7.1 Pemanasan Langsung

Pada metode pemanasan ini akan dilakukan pemanasan kepada cetakan yang akan dipakai pada saat proses penekanan berlangsung. Pemanasan dilakukan dengan cara mengalirkan listrik AC atau DC kepada rangkaian cetakan. Resistan pada cetakan dan material bahan akan menghasilkan panas pada cetakan. Jenis pemansan ini sangat bergantung pada nilai konduktivitas dari cetakan dan material yang akan diberi tekanan.

**Gambar 2.12** merupakan gambaran skema proses *direct hot press*.



**Gambar 2.12** Proses *Direct Hot Press*



## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Akibat jumlah plastik yang terus bertambah dapat menjadi masalah besar jika tidak segera ditanggulangi. Tempat pembuangan sampah di berbagai kota tidak dapat menampung semua sampah yang dihasilkan oleh masyarakat. Pendaaur ulangan sampah dinilai masih belum efektif terutama untuk pengolahan sampah plastik.

*Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Polyethylene* digunakan dalam pembuatan botol minuman dan makanan. Namun dalam hal membuat sampah dalam jumlah yang besar, pelaku utamanya adalah kantong kresek yang terbuat dari *Polyethylene* untuk pembungkus makanan. Plastik jenis inilah kontributor utama permasalahan plastik dunia dan *biodegradability* nya sangat buruk.

Ilmuwan di dunia telah mengembangkan solusi dan metode pengolahan plastik dengan cara peleburan sampah yang merupakan salah satu cara yang efisien dan efektif. Salah satunya adalah pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dwiki Pratama putra yang mengubah sampah plastik PET dan PE menjadi *paving block* dengan agregat pasir.

Selain itu di Ghana, plastik jenis ini juga diolah menjadi penguat untuk campuran aspal. Jalan yang dibuat dengan aspal jenis ini terbukti dapat meningkatkan performa campuran bitumen. Penambahan *thermoplastik* pada campuran bitumen dapat meningkatkan perilaku viskoelastik dan *rheological properties* dari aspal. Penambahan plastik juga meningkatkan titik pelunakan, daya tahan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap deformasi dari aspal. Di samping kenaikan performa dari aspal, pengolahan plastik dengan metode ini memiliki keuntungan karena harganya yang murah, dan ketersediaan plastik yang sangat banyak. (Appiah, *Case Studies in Construction Materials* 6, 2017)



---

Peneliti dari *Materials Engineering Department* Universitas Basrah, Iraq memanfaatkan plastik sebagai campuran untuk beton. Melalui penelitian tersebut mereka menemukan bahwa dengan penambahan plastik dapat meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan terhadap bahan kimia, *drying shrinkage* dan pemuluran dalam jangka waktu yang panjang. Massa jenis dan kekuatan kompresi dari beton juga mengalami kenaikan sampai pada fraksi massa 50% dari massa pasir. (Jassim, 2017)

Pemanfaatan penambahan plastik juga tidak hanya dapat dimanfaatkan menjadi material konstruksi dan jalanan seperti aspal dan beton. Ilmuwan dari *Central Building Research Institute* di India memanfaatkan plastik untuk estetika pada pembuatan ubin. Mereka telah mengembangkan ubin jenis baru bernama *Polymer Modified Cementitious Tiles* atau *Polycem Tiles*. Teknik kompaksi dengan tekanan yang tinggi digunakan dalam pembuatan ubin jenis ini untuk mendapatkan ubin dengan kepadatan yang tinggi. Hasilnya adalah dihasilkan ubin jenis baru yang memiliki keunggulan dengan naiknya *physico-mechanical properties* dari ubin tersebut. Melalui studi DTA dan SEM diperoleh informasi yang dapat menjelaskan hal tersebut yaitu karenan interaksi dari polimer dengan  $\text{Ca}^{2+}$  yang terbentuk ketika proses hidrasi semen dan bersatu untuk membentuk lapisan kontinu yang meningkatkan *physico-mechanical properties* dari ubin. (Asthana, Development of polymer modified cementitious (polycem), 2004)

Pemanfaatan bakelit telah dilakukan sebelumnya pada penelitian yang dilakukan oleh salah satu mahasiswa asal Makassar. Bakelit digunakan sebagai agregat yang kemudian digabungkan dengan sampah LDPE dan PET sebagai matriks. (Isnawati, 2015)

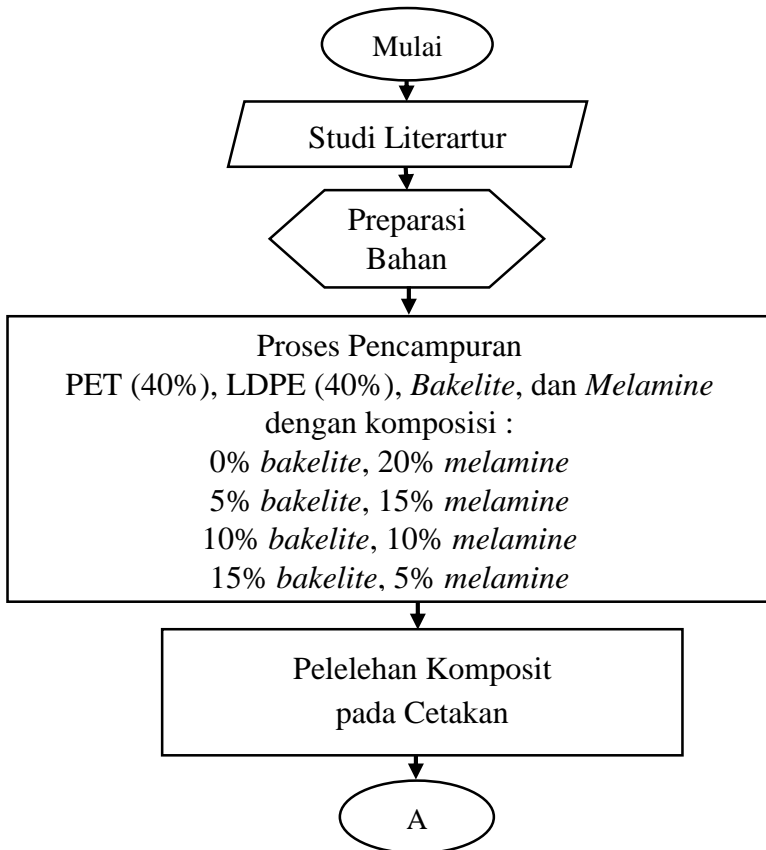
---

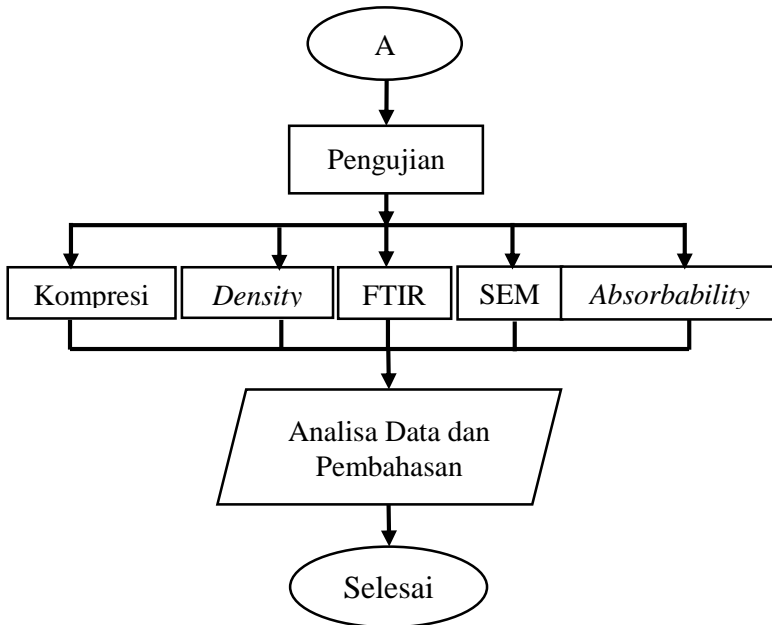




## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

#### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Limbah Plastik (LDPE)



**Gambar 3.2** LDPE



## 2. Limbah Sampah Plastik (PET)



**Gambar 3.3 PET**

## 3. Limbah Termoset (Melamina)



**Gambar 3.4 Resin Melamina**

## 4. Limbah Thermoset (Bakelit)



**Gambar 3.5 Bakelit**

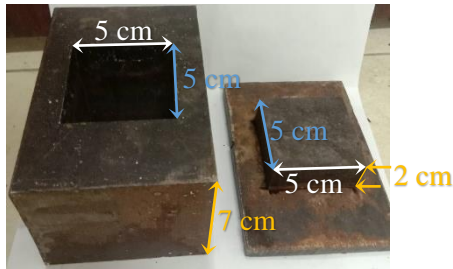
### 3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan



Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji



**Gambar 3.6** Cetakan pembuatan spesimen

## 2. Timbangan digital

Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan.



**Gambar 3.7** Timbangan digital

## 3. Blowtorch

Alat Pembakaran yang dipakai untuk melelehkan matriks.



**Gambar 3.8** *Blowtorch*



4. Gerinda porong

Alat potong guna yang dipakai untuk memperkecil ukuran bakelit.



**Gambar 3.9** Gerinda potong

5. Mesin SEM

Mesin SEM inspection S50 yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.



**Gambar 3.10** Mesin *Scanning Electron Microscope*

6. Mesin FTIR

Mesin FTIR Nicolet IS10 yang digunakan milik laboratorium di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS



**Gambar 3.11** Mesin FTIR

#### 7. Mesin Uji Kompresi

Mesin uji kompresi yang digunakan milik laboratorium Beton Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi



**Gambar 3.12** Mesin Uji Kompresi

#### 8. Thermogun

Alat pengukur panas yang digunakan mengukur temperatur proses pelelehan.



**Gambar 3.13** *Thermogun*

### 3.3 Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan percobaan, dibawah ini adalah rancangan penelitian yang dilakukan.

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

N o.	Binder (%vol)		Melamine (%vol)	Bakelite (%vol)	Pengujian			
	LDPE	PET			SEM	Densitas	Serap Air	Tekan
1	40	40	20	-	v	v	v	v
2	40	40	15	5	-	v	v	v
3	40	40	10	10	v	v	v	v
4	40	40	5	15	-	v	v	v

**Tabel 3.2** Pengujian Bahan Baku Penelitian

Bahan	LDPE	PET	Melamina	Bakelit
FTIR	v	v	v	v



Densitas	v	v	v	v
Tekan	v	v	-	-

### 3.4 Metode Penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini penting untuk dilakukan, karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan yang kita lakukan.

##### 3.4.1.1 Penanganan Agregat

###### a. Bakelit

1. Bakelit dibersihkan menggunakan air.
2. Bakelit dikeringkan dengan cara dijemur selama 3 jam.
3. Bakelit dihancurkan dan di-*shieving* dengan ukuran 2 mesh.

###### b. Melamina

1. Melamina dibersihkan menggunakan air.
2. Melamina dikeringkan dengan cara dijemur selama 3 jam.
3. Melamina dihancurkan dan di-*shieving* dengan ukuran 7 mesh.

##### 3.4.1.2 Pengolahan Sampah Plastik LDPE dan PET

1. Sampah plastik LDPE dan PET dicuci sampai bersih untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaannya.
2. Sampah plastik LDPE dan PET dijemur di bawah sinar matahari sampai kering untuk menghilangkan kandungan air.
3. Melakukan *mechanical crushing* dengan mesin pencacah plastik untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil sehingga mudah dalam proses pelelehan.





#### **3.4.1.3 Pembuatan Komposit**

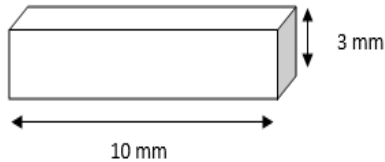
1. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menimbang berat dari plastik (LDPE dan PET) sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
2. Kemudian menimbang berat dari melamina dan bakelit sesuai dengan komposisi yang akan digunakan.
3. Kemudian memasukan plastik, bakelit, dan melamina secara teratur kedalam cetakan besi yang telah disiapkan.
4. Setelah plastik, bakelit, dan melamin yang telah ditimbang dimasukan kedalam cetakan, kemudian cetakan dipanaskan menggunakan *blowtorch* dengan secara merata.
5. Setelah semua bagian dari plastik meleleh dan mencair, cetakan dihubungkan dengan tutup cetakan lalu ditekan dengan pembebanan tertentu.
6. Kemudian cetakan didiamkan didiamkan selama 60 menit.
7. Setelah 60 menit, tutup cetakan dibuka untuk mengeluarkan komposit yang telah dibuat.
8. Komposit yang telah dicetak kemudian didinginkan hingga semua bagian menjadi solid.

#### **3.4.2 Proses Pengujian**

Setelah spesimen komposit selesai dibuat, maka dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari:

##### **3.4.2.1 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)**

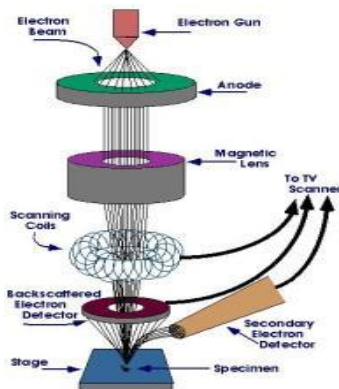
Pengujian SEM bertujuan untuk mempelajari morphology (sifat permukaan), ukuran partikel dan pori, serta bentuk partikel suatu material. Pengujian ini didasarkan pada standard ASTM E2809.



**Gambar 3.14** Dimensi spesimen Uji Morfologi

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakteristik Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.

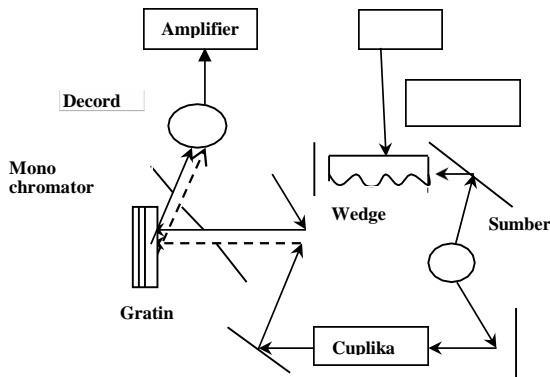


**Gambar. 3.15** Prinsip Kerja SEM



### 3.4.2.2 Uji FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada komposit. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan polimer serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. **Gambar 3.16** adalah skema dari mesin uji FTIR:



**Gambar 3.16** Skema mesin uji FTIR

Adapun cara kerja FTIR seperti berikut ini: Mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembandingan. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah. Standar yang digunakan adalah ASTM E1252. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakteristik Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.



### 3.4.2.3 Uji Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu benda, maka semakin besar pula setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda yang bermassa sama yang memiliki densitas yang lebih rendah. Untuk pengukuran densitas batako menggunakan metode Archimedes mengacu pada standard ASTM C 134-95 dalam Murdock (1991) dan dihitung dengan persamaan 3.1.

$$P_{pc} = \frac{m_s}{(m_g - m_k)} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

$P_{pc}$  = densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

$m_s$  = massa sampel kering (gr)

$m_g$  = massa sampel digantung didalam air

$m_k$  = massa kawat penggantung (gr)

$P_{air}$  = densitas air = 1 (gr/cm<sup>3</sup>).

Dengan mengacu pada persamaan 3.1, proses pengujiannya spesimen ditimbang terlebih dahulu. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam akuades (berada di gelas beker di atas timbangan) dengan posisi digantung menggunakan benang. Posisi spesimen tidak boleh menyentuh dasar gelas. Setelah kita dapatkan massa spesimen yang menggantung tersebut kita dapat mengetahui volume spesimen yang ada dengan cara membaginya dengan massa jenis dari akuades. Setelah semuanya diketahui maka nilai densitas dapat dihitung menggunakan persamaan diatas. Akan tetapi nilai massa kawat penggantung ( $m_k$ ) diabaikan karena nilainya yang terlalu kecil.



#### 3.4.2.4 Pengujian *Water Absorbability*

Pengujian angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel pokok dibandingkan dengan pada saat kondisi kering, ketika agregat tersebut dianggap telah cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap penuh. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering ke dalam air selama (24+4) jam. Agregat yang diambil dari bawah muka air tanah akan memiliki nilai penyerapan yang lebih besar bila tidak dibiarkan mengering. Sebaliknya, beberapa jenis agregat mungkin saja mengandung kadar air yang lebih kecil bila dibandingkan dengan yang pada kondisi terendam selama 15 jam. Untuk agregat yang telah kontak dengan air dan terdapat air bebas pada permukaan partikelnya, presentase air bebasnya dapat ditentukan dengan mengurangi penyerapan dari kadar air total. Standar yang digunakan adalah ASTM D570.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

A = berat basah (gram)

B = berat kering (gram)

Proses pengujian nilai penyerapan air mengacu pada ASTM D570 dan mengacu pada persamaan 3.2 dimana dalam prosesnya spesimen direndam terlebih dahulu di dalam akuades selama 24 jam kemudian ditimbang untuk mengetahui berat basah dari spesimen yang ada. Setelah itu spesimen dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dalam temperature 50° C dan kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering dari spesimen tersebut. Kemudian data yang ada dimasukkan ke persamaan diatas untuk mengetahui nilai *Water absorbability*-nya.



#### 3.4.2.5 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban/tekanan hingga benda uji runtuh (Tjokrodimulyo, 1996). Dalam pengujian ini standard yang digunakan adalah SNI 03-0691-1996. Untuk mengetahui tegangan hancur dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan:

P = beban tekan (N)

L = luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

Dengan mengacu pada persamaan 3.3, sebelum dilakukan proses uji kompresi, spesimen yang ada ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat dari masing-masing spesimen. Setelah itu dilakukan proses uji kompresi dan didapatkan data berupa berat tekan dalam satuan (Ton) yang kemudian di konversi menjadi satuan Newton. Setelah didapatkan data berupa beban tekan dalam Newton, kemudian data yang ada dimasukkan ke dalam persamaan di atas untuk menghitung kuat tekan dari masing-masing spesimen.

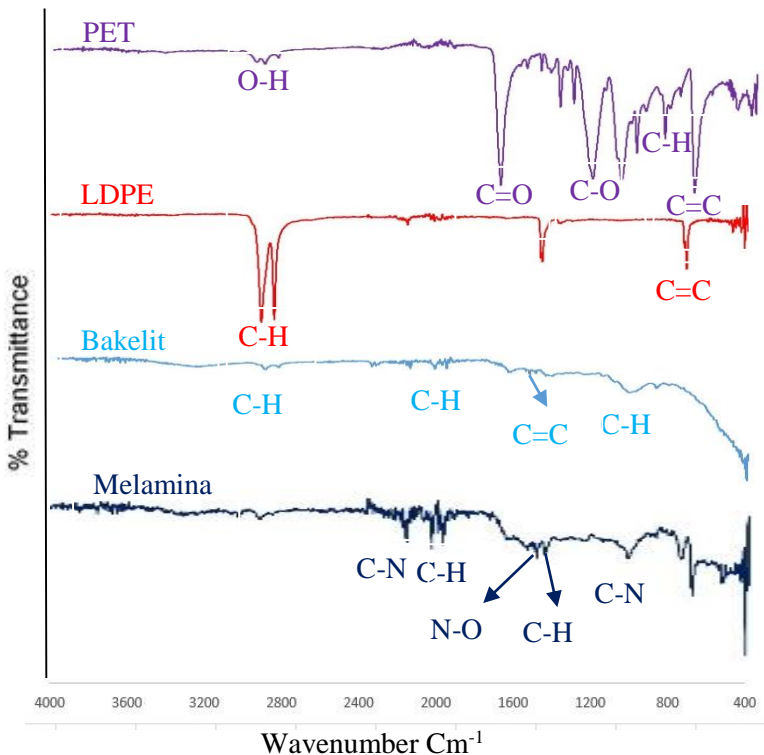


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Bahan Baku

#### 4.1.1 Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Pengujian ini bertujuan mengetahui gugus-gugus penyusun bahan baku untuk mengetahui jenis bahan baku yang dipakai sesuai dengan yang dibutuhkan atau bukan. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji FTIR yang bertempat di Departemen Teknik Material, FTI, ITS.



**Gambar 4.1** Hasil Pengujian FTIR Bahan Baku



**Tabel 4.1** Daerah Serapan PET

Wavenumber $\text{Cm}^{-1}$	Ikatan	Gugus
722	C=C	Alkena
872	C-H	Alkana
1095	C-O	Ether
1242	C-O	Ether
1715	C=O	Ester
2919	O-H	Carboxylic Acid

Berdasarkan **Tabel 4.1**, sampel yang telah dianalisa menggunakan FTIR dari wavenumber  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ , menunjukan adanya wavenumber yang mengindikasikan sampel tersebut sebagai polyethylene terephthalate.

Pada wavenumber 722, terdapat ikatan C=C yang menyusun gugus Alkena. Kemudian pada wavenumber 872, terdapat ikatan C-H yang menyusun gugus Alkana. Pada wavenumber 1095 dan 1242, terdapat ikatan C-O yang mewakili adanya gugus ether. Pada wavenumber 1715, terdapat ikatan C=O yang mewakili gugus Ester. Dan terakhir pada wavenumber 2919, terdapat ikatan O-H yang mewakili gugus asam karboksilat. (California State University, 2014)

**Tabel 4.2** Daerah Serapan PE

Wavenumber $\text{Cm}^{-1}$	Ikatan	Gugus
729	C=C	Alkene
1471	C-H	Alkana
2847	C-H	Alkana
2914	C-H	Alkana

Berdasarkan **Tabel 4.2**, sampel yang telah dianalisa menunjukan adanya wavenumber yang mengindikasikan sample tersebut adalah polyethylene.





Pada Wavenumber 729, terdapat ikatan C=C yang menyusun gugus Alkena. Kemudian pada wavenumber 1471, 2847, dan 2914 menunjukkan adanya ikatan C-H yang menunjukkan adanya gugus Alkana. (California State University, 2014)

**Tabel 4.3** Daerah Serapan Bakelit

Wavenumber $\text{Cm}^{-1}$	Ikatan	Gugus
879	C-H	Alkana
1540	C=C	Cyclic Alkane
1973	C-H	Benzene
2035	C-H	Benzene
2917	C-H	Alkana

Berdasarkan **Tabel 4.3**, Sampel yang telah di analisa menunjukkan adanya wavenumber yang mengindikasikan ssample tersebut adalah bakelite.

Pada Wavenumber 879, menunjukkan adanya ikatan C-H yang merupakan bagian dari gugus Alkana. Kemudian pada wavenumber 1540, terdapat ikatan C=C yang merupakan bagian dari gugus Cyclic Alkane. Dan pada wavenumber 1973 dan 2035, terdapat ikatan C-H untuk gugus Benzene. Dan terakhir pada wavenumber 2917 terdapat ikatan C-H yang menunjukkan adanya gugus Alkana. (California State University, 2014)

Bakelit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus daripada melamin. sehingga, penambahan bakelit diharapkan dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik komposit.



**Tabel 4.4** Daerah Serapan Melamina

Wavenumber $\text{Cm}^{-1}$	Ikatan	Gugus
693	C-H	Benzene
1020	C-N	Amine
1449	C-H	Alkane
1507	N-O	Nitro compound
1973	C-H	Benzene
2032	C-H	Benzene
2162	C-N	Nitrile

Berdasarkan **Tabel 4.4**, Sampel yang telah di analisa menunjukan adanya wavenumber yang mengindikasikan ssample tersebut adalah melamina.

Pada wavenumber 693 dan 1973 menunjukan ikatan C-H dari gugus benzene. Pada wavenumber 1020 menunjukan ikatan C-N dari gugus amine. Pada wavenumber 1449 menunjukan gugus alkane dengan ikatan C-H. Pada wavenumer 1507 terdapat ikatan N-O dari Senyawa Nitrogen. Pada wavenumber 2032 terdapat ikatan C-H untuk gugus aromatic. Dan terakhir terdapat ikatan C-N pada wavenumber 2162 untuk gugus Nitrile. (California State University, 2014)

#### 4.1.2 Nilai Densitas dan Kompresi Bahan Baku

Perhitungan nilai densitas bahan baku bertujuan sebagai acuan pada perhitungan persentase porositas pada produk.

**Tabel 4.5** Nilai Densitas Bahan Baku

Bahan	Bakelit	LDPE	Melamina	PET
Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	1.27	0.78	1.3	1.22



Berdasarkan **Tabel 4.5** dapat diketahui bahwa nilai densitas dari setiap bahan baku yang dipakai lebih rendah dari seharusnya. Hal ini dikarenakan bahan baku yang dipakai adalah sampah daur ulang yang memiliki sifat fisik maupun mekanik yang lebih rendah daripada yang biasa dihasilkan di laboratorium.

Dengan demikian, perhitungan porositas berdasarkan sifat fisik maupun mekanik dari data bahan baku yang dihasilkan di laboratorium tidak bisa dipakai. Dikarenakan perbedaan nilai densitas.

**Tabel 4.6** Nilai Daya Kompresi Bahan Baku

Bahan	PE	PET	Melamina	Bakelit
Daya Tekan (Kn)	46	13	82	170
Luas Permukaan (Cm <sup>2</sup> )	25	25	25	25
Daya Kompresi	18.4 Mpa	5.2 Mpa	32.8 Mpa	68 Mpa

Berdasarkan **Tabel 4.6**, dapat diketahui bahwa nilai daya kompresi bahan baku yang dipakai. Penentuan daya kompresi dari abhan yang dipakai merupakan salah satu faktor utama dalam komposit untuk mengetahui nilai komposit yang dihasilkan.

Selain itu, dapat dilihat bahwa nilai daya kompresi bakelit lebih tinggi daripada melamina yang dipakai. Melamina hanya memiliki nilai daya kompresi 32.8 Mpa, sedangkan bakelit memiliki nilai daya kompresi 68 Mpa. Sehingga penambahan bakelit diharapkan dapat meningkatkan daya kompresi komposit. Pada *paving block*, nilai daya kompresi sangatlah penting. Nilai daya kompresi ini dipakai untuk mengetahui standar dari *paving block* yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai daya kompresi *paving block*, semakin tinggi standar *paving block* yang dihasilkan.



---

## 4.2 Analisa Pembuatan *Paving Block*.

### 4.2.1 Sebelum Peleburan Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan metode *direct hot press* dalam pembuatan *paving block*. Metode ini memanfaatkan pemanasan langsung pada cetakan untuk mel Cairkan sampah plastik yang akan digunakan sebagai matriks. Metode *hot press* biasa digunakan untuk menghasilkan material yang keras dan kuat. (German, 2005).

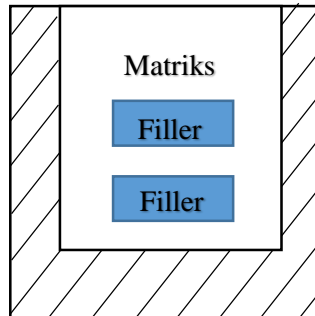
Sebelum dilakukan pemanasan, dilakukan penataan bahan baku didalam cetakan. Hal ini dilakukan dengan alasan selama proses *hot press* berlangsung, campuran antara matriks dan filler yang berada didalam cetakan tidak dapat diaduk.

Pengadukan bertujuan untuk mempercepat proses pencampuran fluida karena dapat menyebabkan terjadinya perpindahan massa dan panas sehingga pengadukan dapat mempermudah campuran menjadi homogen. (Gustiayu, 2012). Persebaran partikel yang tidak homogen atau merata dapat mengurangi tingkat kerapatan antar partikulat yang menjadi filler.

Oleh karna itu, sebelum melakukan proses pemanasan, perlu dilakukan penataan bahan baku terlebih dahulu. Penataan bertujuan untuk memastikan pemerataan filler.



Tampak Atas



Cross Section

**Gambar 4.2** Distribusi Matriks dan Filler



#### 4.2.2 Peleburan Bahan Baku

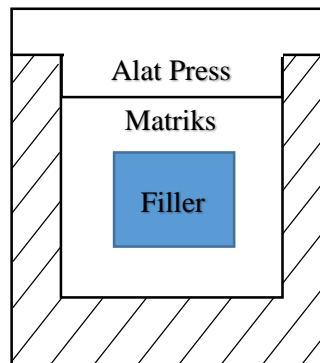
Peleburan bahan baku dilakukan dengan cara memanaskan cetakan tadi menggunakan *blowtorch*. Selama proses pemanasan terjadi perubahan fasa pada matriks. Sampah plastik yang digunakan sebagai matriks leleh dan melapisi bakelite dan melamine.

Peleburan dilakukan dengan temperatur diatas  $260^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dikarenakan pelelehan sampah plastik terjadi pada temperature diatas  $260^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan temperatur leleh PET. (Govaert, 2005). Namun temperatur dijaga tetap dibawah  $360^{\circ}\text{C}$  untuk mencegah terjadinya pelelehan dari melamin yang memiliki titik leleh  $360^{\circ}\text{C}$ .

Setelah peleburan selesai, dilakukan pembebanan. Pembebanan bertujuan untuk memadatkan dan mengurangi porositas pada produk hasil. Beban yang diberikan adalah 10 kg atau 98 N. Pembebanan ini hanya bertujuan untuk memadatkan campuran antara matriks dan filler. Polyethylene dan polyethylene terephthalate yang sudah cair, sangat mudah untuk berubah bentuk ketika menerima tekanan. (Bruce, 1984)



*Cross Section*



*Cross section saat proses pressing*

**Gambar 4.3** Penekanan Bahan Baku



---

### 4.3 Analisa Produk *Paving Block*.

#### 4.3.1 Uji Kompresi

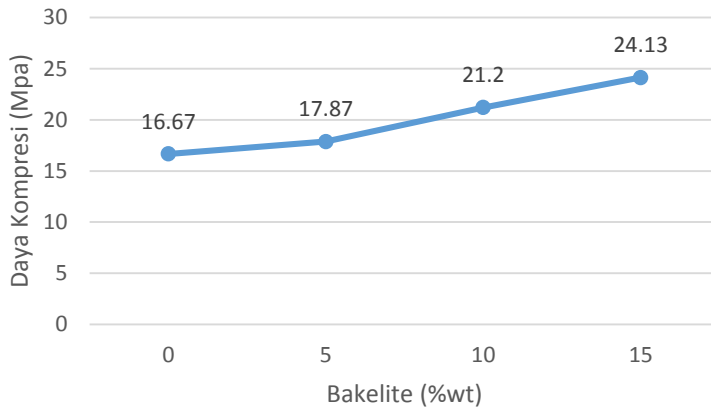
Pengujian kompresi dilakukan untuk mengetahui kekuatan kompresi dari komposit yang terbuat dari binder thermoplastik LDPE dan PET dan agregat pasir. Dengan mengetahui kekuatan kompresi dari material komposit, maka dapat dijadikan pertimbangan komposit yang dibuat untuk dijadikan bahan bangunan seperti ubin, *paving block*, dinding, *paving block*, dan lain-lain.

Uji kompresi dilakukan di Laboratorium Uji *Paving block* Jurusan D3 Teknik Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dari hasil uji kompresi yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.7**:

**Tabel 4.7** Data Uji Kompresi Produk

No.	PET (% vol)	PE (% vol)	Melamina (% vol)	Bakelit (% vol)	Nilai Kompresi (Mpa)
1.	40	40	20	-	16.67
2.	40	40	15	5	17.87
3.	40	40	10	10	21.2
4.	40	40	5	15	24.13

**Tabel 4.7** menunjukkan nilai kekuatan kompresi dari material komposit Melamina/PE/PET dengan penambahan Bakelite. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa adanya penambahan bakelit dalam komposit, mempengaruhi nilai kekuatan kompresi.



**Gambar 4.4** Grafik Nilai Pengujian Kompresi

**Gambar 4.4** menunjukkan bukti bahwa dengan penambahan bakelit kedalam komposit dapat meningkatkan kekuatan kompresi dari komposit untuk aplikasi material bangunan. Kekuatan kompresi paling tinggi didapatkan dengan komposisi 15% vol Bakelit dengan kekuatan kompresi sebesar 24.13 MPa. Sedangkan kekuatan kompresi paling rendah didapatkan pada komposisi komposit dengan komposisi 0% vol bakelit dan dengan kekuatan kompresi sebesar 16.67 MPa.

Kenaikan kekuatan kompresi pada material komposit ini disebabkan oleh kekuatan ikatan antar *interface* polimer dan agregat yang meningkat dengan adanya penambahan bakelit.. Karakteristik polimer yang mengisi pori juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari material komposit (Frigione, 2010).

Dikarenakan nilai kompresi bakelit lebih tinggi dari melamina, penambahan bakelit menyebabkan kenaikan nilai ketahanan uji kompresi. Ketahanan kompresi dari dari *paving block* yang dihasilkan bertumpu pada jumlah bakelit yang berikatan dengan matriks membentuk *interface*. (Tuprakay, 2017)



#### 4.3.2 Uji Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa dan volume dari masing-masing spesimen untuk diketahui massa jenisnya. Pengujian densitas dilakukan dengan alat timbangan digital pada Laboratorium Korosi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Hasil uji densitas ditunjukkan pada **Tabel 4.8** :

**Tabel 4.8** Uji Densitas Produk

No	PE (%v)	PET (%v)	Melamin (%v)	Bakelite (%v)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas Teoritis (g/cm <sup>3</sup> )
1.	40	40	20	-	1.0136	1.06
2.	40	40	15	5	1.0106	1.585
3.	40	40	10	10	1.0078	1.057
4.	40	40	5	15	1.0042	1.0555

**Tabel 4.8** menunjukkan nilai massa jenis dari material komposit dengan *binder* thermoplastik dan agregat tambahan bakelit. Hasil pengujian menunjukkan dengan penambahan bakelit dapat mempengaruhi nilai masa jenis komposit. Massa jenis paling tinggi ditemukan pada spesimen nomor 1 yang terbuat dari 0%vol bakelit dengan nilai 1.0136 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan yang paling kecil ditemukan pada spesimen nomor 4 yang terbuat dari 15%vol bakelit dengan massa jenis sebesar 1.0042 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 4.9** Uji Porositas

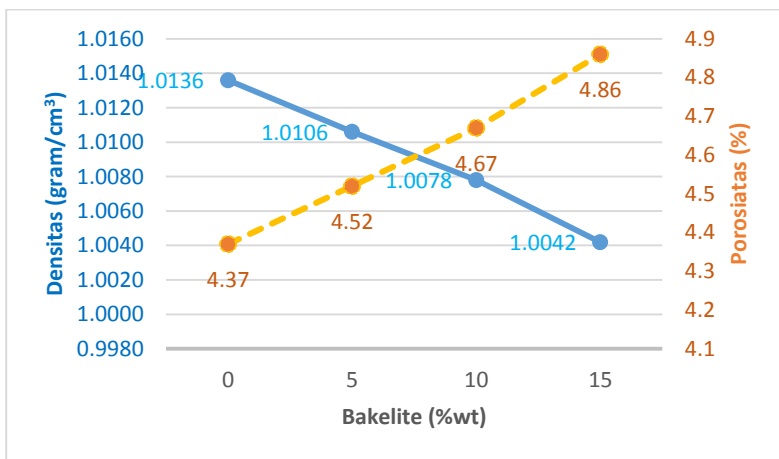
N o.	PE (%vol)	PET (%vol)	Melamin e (%vol)	Bakelite (%vol)	Porosita s (%)
1.	40	40	20	-	4.37
2.	40	40	15	5	4.52





3.	40	40	10	10	4.67
4.	40	40	5	15	4.86

**Tabel 4.9** menunjukkan nilai masa jenis dari material komposit dengan *binder* thermoplastik dan agregat tambahan bakelit. Hasil pengujian menunjukkan dengan penambahan bakelit dapat mempengaruhi nilai porositas pada komposit. Porositas paling tinggi ditemukan pada spesimen nomor 4 yang terbuat dari 15%vol bakelit dengan nilai 4.86%. Sedangkan yang paling kecil ditemukan pada spesimen nomor 1 yang terbuat dari 0%vol bakelit dengan masa jenis sebesar 4.37%.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

**Gambar 4.5** menunjukkan penurunan nilai massa jenis komposit dengan adanya penambahan bakelit dalam grafik. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan bakelit cenderung menurunkan nilai massa jenis dari material komposit untuk aplikasi



material bangunan dikarenakan nilai densitasnya yg lebih kecil dari melamina.

Selain itu, **Gambar 4.5** menunjukkan penambahan bakelite memicu pertambahan porositas pada *paving block*. Hal ini menunjukkan akibat dari ukuran partikulat yg lebih besar, menyebabkan semakin bertambahnya pertumbuhan porositas dalam *paving block*. Hal ini disebabkan semakin besar partikulat yang dipakai, semakin mudah defect terjadi sehingga mengakibatkan kecacatan saat proses pelelehan. (Goutham, 2016)

#### 4.3.3 Uji *Water Absorbability* (Daya Serap Air)

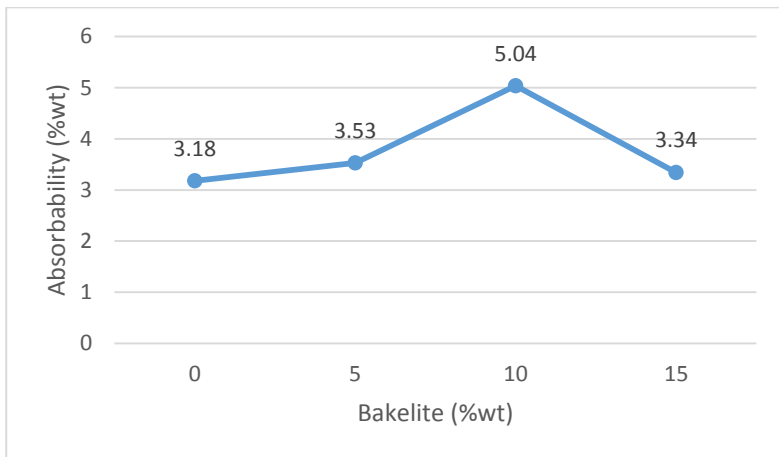
Uji penyerapan air diperlukan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menyerap air. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan selisih antara berat basah dengan berat kering dari spesimen.

Dari hasil pengujian penyerapan air yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.10** :

**Tabel 4.10** Data Hasil Pengujian *Water Absorbability*

No	PE (% vol)	PET (% vol)	Melamina (% vol)	Bakelit (% vol)	<i>Absorbability</i> (% vol)
1	40	40	20	-	3.18%
2	40	40	15	5	3.53%
3	40	40	10	10	5.04%
4	40	40	5	15	3.34%

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan nilai *absorbability* dari material komposit dalam bentuk persentase (%). Dari hasil pengujian didapatkan dengan penambahan bakelit dapat mempengaruhi nilai *absorbability* dari komposit. Nilai *absorbability* paling besar didapatkan pada spesimen 3 dengan penambahan bakelite sebesar 10%vol dengan nilai *absorbability* 5.04%. Sedangkan nilai *absorbability* paling kecil didapatkan pada spesimen 1 dengan dengan penambahan 0% vol bakelite.



**Gambar 4.6** Grafik Data Uji Daya Serap Air

**Gambar 4.6** menunjukkan nilai *absorbability* dari komposit dalam bentuk grafik. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bakelit dapat menaikkan nilai *absorbability* namun pada kadar tertentu akan menurunkan nilai *absorbability*.

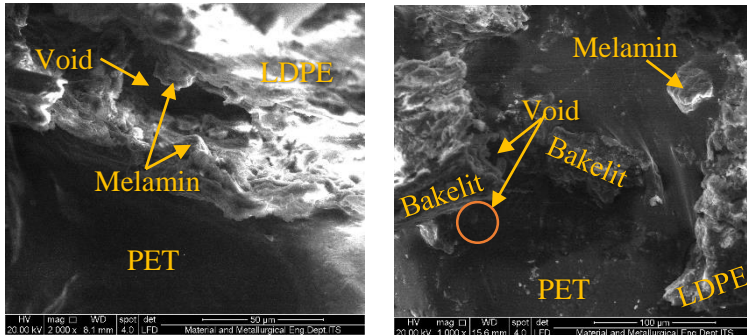
Nilai daya serap air tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan penambahan bakelit sebesar 10%. Tingginya daya serap air ini dipengaruhi oleh banyaknya rongga yang terbentuk diantara agregat bakelit yang tertutup oleh melamin yang menyebabkan plastik tidak dapat menyelimuti agregat dengan sepenuhnya. Semakin besar agregat yang dipakai semakin banyak defect yang terjadi. (Goutham, 2016). Sehingga sampai pada kadar tertentu, penambahan bakelit dapat menyebabkan peningkatan daya serap air.

#### **4.3.4 Uji Scanning Electron Microscope (SEM)**

Morfologi dari spesimen komposit ditunjukkan dengan menggunakan fotomikrograph *Scanning Electron Microscope*. Selain morfologi, fotomikrograph juga dapat menunjukkan porositas yang ada pada spesimen. SEM juga digunakan untuk mengidentifikasi daerah *Interface* dari agregat dengan matriks.



Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 1000x untuk specimen 10/10 melamina dan bakelit. Kemudian untuk specimen 20% melamina dilakukan dengan perbesaran 2000x.



a. 20% melamine

b. 10% melamin dan  
10% bakelit

**Gambar 4.7** Hasil Pengujian SEM : a.) 20% melamin (2000x),  
b.) 10% melamin dan 10% bakelit (1000)x.

Pada **Gambar 4.7 (a)** menunjukkan hasil uji specimen 1 yang merupakan specimen tanpa adanya penambahan bakelit. Terlihat pada gambar bahwa melamin dapat dilapisi oleh matriks yang terbuat dari *low-density polyethylene* (LDPE) maupun *polyethylene terephthalate* (PET). LDPE melapisi melamin dari atas dan PET melapisi melamin dari bawah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa melamin dapat membentuk *interface* dengan LDPE maupun dengan PET. Adanya daerah *interface* ini akan mempengaruhi sifat mekanik dari komposit. Persebaran daerah *interface* antara matriks dengan filler dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit (Helena, 2014).

Pada **Gambar 4.7 (b)** menunjukkan hasil uji specimen 3 yang merupakan specimen dengan penambahan bakelit sebanyak 10%. Terlihat bahwa bakelit dapat dilapisi oleh matriks yang terbuat dari lelehan PET maupun LDPE. Dengan adanya peristiwa pelapisan ini dapat disimpulkan bahwa terbentuk daerah *interface*



antara matriks PET dan LDPE dengan bakelit. Selain itu, melamin pada spesimen ini juga membentuk *interface* seperti yang terdapat pada spesimen sebelumnya. Adanya daerah interface dari kedua agregat ini dengan matriks dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit (Helena, 2014).

Pada kedua gambar hasil pengujian SEM, lelehan plastik polimer *thermoplastic* dapat mengisi rongga yang terbentuk antar agregat. Hal ini juga dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit yang dihasilkan (Frigione, 2010).

Akan tetapi masih ditemukan porositas dari kedua specimen. Porositas ini disebabkan oleh rongga yang terbentuk dari dua atau lebih agregat tidak tertutup sempurna ataupun disebabkan oleh proses *hot press* yang kurang efektif. Namun dikarenakan hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa nilai porositas antar specimen uji tidak berbeda jauh, maka proses *hot press* tergolong efektif sehingga faktor utama adanya porositas dalam specimen disebabkan oleh adanya rongga antar agregat. Semakin besar partikulat yang dipakai akan menyebabkan semakin besar rongga antar partikel (Gotham, 2016).

Selain porositas, dari hasil pengujian SEM yang menyatakan adanya *interface* dari matriks dengan agregat sehingga berdampak pada sifat mekaniknya yang meningkat. Adanya interface antara agregat melamin dan bakelit dengan matriks yang terdiri dari PET dan LDPE menyebabkan sifat mekanik komposit lebih tinggi dengan nilai terendah 16.67 Mpa dan tertinggi adalah 24.13 Mpa.



---

---

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

---

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Pengaruh penambahan bakelit terhadap sifat fisis dan sifat mekanik komposit yang terbuat dari campuran LDPE/PET/Melamina adalah sebagai berikut:
  - a. Penambahan Bakelit akan mengakibatkan menurunkan nilai densitas dari komposit. Hal ini dikarenakan densitas bakelit yang lebih ringan dari melamina.
  - b. Penambahan Bakelit menyebabkan kenaikan nilai *water absorbability*. Hal ini dikarenakan *defect* dari ukuran agregat bakelit dan melamina. Akan tetapi mulai terjadi penurunan pada kadar tertentu.
  - c. Penambahan bakelit menyebabkan kenaikan nilai kuat tekan dari komposit. Hal ini dikarenakan nilai daya tekan bakelit lebih tinggi dari melamina.
2. Berdasarkan data yang didapat, dapat disimpulkan bahwa komposisi *paving block* yang sesuai standar SK SNI 03-0691-1996 dengan kualitas B dan standar SK SNI 03-3449-2002 struktur ringan adalah :
  - a. Penambahan 10% bakelit  
Daya Tekan : 21.2 Mpa  
Densitas : 1.0078 gram/cm<sup>3</sup>  
Daya serap air: 5.04%  
Porositas : 4.67%
  - b. Penambahan 15% Bakelit  
Daya Tekan : 24.13  
Densitas : 1.0042 gram/cm<sup>3</sup>  
Daya serap air: 3.34%



---

Porositas : 3.34%

## **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pemanasan menggunakan induksi listrik agar panas pada cetakan lebih merata.
2. Memperhalus ukuran mesh bakelit yang digunakan sebagai agregat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abrose, Dyana. et. al. 2013. *Melamine formaldehyde: Curing studies and reaction mechanism*. UAE: The Petroleum Institute.
- Alger, Mark. S. M. (1997). *Polymer Science Dictionary (2nd ed.)*. Springer Publishing. ISBN 0412608707.
- Anonim. 2002. *SNI 03-3449-2002 Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Appiah, J. K. (2017). Use of Waste Plastic Materials for Road Construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials* 6, 1-7.
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (1998). *Engineering Materials Volume 2*. Cambridge, United Kingdom: Butterworth Heinemann.
- Assad, J. J. (2017). *Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair application*. Baabda, Lebanon, Iraq: Elsevier.
- Asthana, K. (2004). Development of polymer modified cementitious (polycem). *Construction and Building Materials* 18, 639-643.
- ASTM D 7264 *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite*. (n.d.). ASTM International.
- Bach, C., Dauchy, X., & Etienne, S. (2009). *Characterization of Poly(Ethylene Terephthalate) Used in Commercial Bottled Water*. IOP Publishing.
- Brady, G. S., & Clauser, H. R. (n.d.). *Materials Handbook Fifteenth Edition*. McGraw-Hill.
- Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering an Introduction*. Utah: John Wiley & Sons.
- California State University. (2014). *National Science Foundation numbers: 1246120, 1525057, and 1413739*. USA. MerloSt.

- Coates, J. (2000). *Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach*. Newtown, USA: John Wiley & Sons Ltd.
- David, Bradley. (2008). *MelamineI in milk*. Science base.
- Ding, Y. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber). *Construction and Building Materials*.
- Dionys, van Gemert, D., & Czarnecki, L. (2005). *Cement concrete and concrete–polymer composites: Two merging worlds. A report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004*. Berlin, Germany: Elsevier.
- Dobrowolski, A.J. 1998. *Concrete Contruction Hand Book*. New York: Mc. Graw-Hill Companies Inc.
- Fowler, D. W. (1999). *Polymers in concrete: a vision for the 21st century*. Texas, USA: Elsevier.
- Frigione, M. (2010). *Concrete with Polymers*. Italy: University of Salento.
- German, R.M.: *A-Z of Powder Metallurgy*, page 103. Elsevier, 2005.
- Gulmine, J., & Janissek, P. (2001). *Polyethylene Characterization by FTIR*. Curitiba, Brazil: Elsevier.
- Gustiayu brilliant, Ratna Ayu, Nurtono, Sugeng Winardi. (2012). *Simulasi Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk dengan Side-Entering Impeller untuk Suspensi Padat-Cair*. Surabaya: ITS
- Govaert, L. E. (2005). *Polymers chain for plastic*. VSSD. ISBN 9071301486.
- Hartman, Bruce. (1984). *Tensile Yeild in Polyethylene*. Michigan: Wiley Library.
- Helena, Melda, Baharudin, Ahmad Fadli. 2014. *Pengaruh kadar filler abu sawit (ukuran direduksi) dan Temperatur pencampuran terhadap morfologi dan sifat komposit Polipropilen/karet alam*. Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Isnawati. (2015). *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Kuat Tekan Beton*. Makassar: UIN Alauddin.

- Jafari, K. (2017). *Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete*. Tehran, Iran: Elsevier.
- Jassim, A. K. (2017). Recycling of Polyethylene Waste to Produce Plastic Cement. *Procedia Manufacturing* 8, 635-642.
- Justnes, D. H. (n.d.). *Polymer Cement Concrete (PCC) of Interest for Concrete Block Paving*. Trondheim, Norway: SINTEF Structures and Concrete.
- Margolis, J. M. (2006). *Engineering Plastics Handbook*. Montreal, Province of Quebec, Canada: McGraw-Hill.
- Murugan, R. B. (2016). Material development for a sustainable precast concrete block pavement. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*.
- Neville, A.M., dan J.J. Brooks. 1987. *Concrete Technology*. New York: Longman Scientific and Technical.
- Patrick, Selessor, & Catherine. (1998). *Illustration Guide Bakelite collectables*. London : Quantum
- Reddy, Goutham. (2017). *Tensile and Water Absorption Properties of Composite without voids and with voids*. India.
- San Jose, J., & Vegas, I. (2005). *Reinforced polymer concrete: Physical properties of the matrix and static/dynamic bond behaviour*. Bilbao, Spain: Elsevier.
- Suswanto. (2017). *Analisa Pengaruh Penambahan Fraksi Berat Termoset dan Stryrofoam pada Komposit Berbasis LDPE Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik untuk Aplikasi Bahan Bangunan Surabaya* : ITS
- Tjokrodinuljo, K.. 2003. *Teknologi Bahan Konstruksi*, Buku Ajar. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univeritas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tapkire, G., & Parihar, S. (2014). *Recycled Plastic Used in Concrete Paving Block*. Bhopal, India: International Journal of Research in Engineering and Technology.
- Tuprakay, Seree. (2017). *A Study Bakelite Plastic Waste from Industrial Process in Concrete Product as Agregate*. Bangkok, Thailand.

- Umum, D. P. (2002). *SNI 03-3449-2002 Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*.
- University of York Centre, (2009). *Synthesis of Polymers*. York, UK.
- vil-Escalante, J., & Gomez Soberon, J. (2015). *Synthesis and Characterization of PET Polymer Resin For Your Application in Concrete*. Mexico: Internation Journal of Structural Analysis & Design-USAD.
- Wessel, J. K. (2004). *Handbook of Advanced Materials*. John Wiley & Sons.
- Wypych, G. (2016). *Handbook of Polymer 2nd Edition*. Toronto, Canada: ChemTec Publishing.
- Zhang, H. (2010). *Building Materials in Civil Engineering*. Woodhead Publishing.ndi

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Raka Bayu Naweswara, lahir di Karanganyar 17 November 1996. Merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Joko Partono dan Ibu Darwanti. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu SDN 5 Tawangmangu, SMP N 1 Karanganyar dan SMA N 1 Karanganyar. Setelah lulus dari SMA tahun 2014, penulis diterima menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

Semasa menjadi mahasiswa ITS penulis aktif dalam kegiatan organisasi Badan Semi Otonom (BSO) Material Techno Club (MTC), dan Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Ash-haabul Kahfi Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS. Dalam bidang organisasi tahun kedua penulis menjadi Staff *event* di BSO MTC dan menjadi staff dana usaha LDJ Ash-haabul Kahfi. Pada tahun ketiga penulis menjadi Staff Ahli BSO MTC dan menjadi bagian team TMS Bladesmitthing 2017 yang mewakili ITS ke San Diego, Amerika Serikat.

Pada tahun ketiga penulis mengambil mata kuliah kerja praktek di salah satu perusahaan senjata terbesar di Indonesia yaitu PT. Pindad (Persero) Bandung dengan topik “Analisa proses forging pada pembuatan swing link dengan material S 45 C dan S 35 C di PT.Pindad (Persero)” dan penulis menutup kuliah di Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Penambahan Bakelit terhadap Sifat Fisis dan Mekanik dari Komposit Melamina / PE / PET sebagai Paving Block dengan Metode Hot Press”**.

Email : [Raka.Bayu.n17@gmail.com](mailto:Raka.Bayu.n17@gmail.com)

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN A

### PERHITUNGAN

#### Density (Massa Jenis)

$$\rho = \frac{Massa}{Volume}$$

Keterangan:

Massa (gram)

Volume (cm<sup>3</sup>)

Penambahan bakelite (% vol)	0	5	10	15
Berat (gram)	128.4	126.46	128.57	130.05
Volum (cm <sup>3</sup> )	126.68	125.13	127.58	129.5
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.0136	1.0106	1.0078	1.0042

Penambahan bakelite 0% vol

Diketahui:

Massa : 128.4 gr

Volum : 126.68 cm<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{Massa}{Volume} \\ &= \frac{128.4 \text{ gr}}{126.68 \text{ cm}^3} \\ &= 1.0136 \text{ gr/ cm}^3\end{aligned}$$

## Absorbability

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A = berat basah

B = berat kering

Penambahan Bakelite (% vol)	0	5	10	15
Berat Basah (g)	132.51	130.89	135.04	134.36
Berat Kering (g)	128.4	126.46	128.57	130.05
Absorbability (%)	3.18	3.58	5.04	3.34

Penambahan bakelit 0% vol

Diketahui:

Berat Basah : 132.51 gram

Berat Kering: 128.4 gram

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan Air} &= \frac{132.51 - 128.4}{128.4} \times 100\% \\ &= \frac{4.11}{128.4} \times 100\% \\ &= 3.18 \%\end{aligned}$$



## Kuat Tekan

$$Kuat\ tekan = \frac{P}{L}$$

Keterangan:

P = beban tekan (N)

L = luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

Penambahan bakelit (% vol)	0	5	10	15
Beban tekan (kN)	41.67	44.67	53	60.33
Luas bidang tekan (cm <sup>2</sup> )	25	25	25	25
Kekuatan Tekan (Mpa)	16.67	17.87	21.2	24.13

Penambahan 0% vol bakelit

Diketahui:

Beban tekan : 41.67 kN : 41.670 N

Luas bidang tekan : 25 cm<sup>2</sup> : 2500 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} Kuat\ tekan &= \frac{P}{L} \\ &= \frac{41670\ N}{2500\ mm^2} \\ &= 16.67\ MPa \end{aligned}$$

## Uji Porositas

$$\rho_t = \frac{\rho_t - \rho_r}{\rho_t}$$

Keterangan :

$\rho_t$  = Densitas Teoritis (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_r$  = Densitas Produk (g/cm<sup>3</sup>)

$$\rho_t = (F_m \times \rho_m) + (F_f + \rho_f)$$

$F_m$  = Fraksi volume matriks

$F_f$  = Fraksi volume filler

$\rho_m$  = Densitas teoritis matriks

$\rho_f$  = Densitas teoritis filler

Penambahan bakelit (%vol)	0	5	10	15
Densitas Produk (g/cm <sup>3</sup> )	1.0136	1.0106	1.0078	1.0042
Densitas Teoritis (g/cm <sup>3</sup> )	1.06	1.0585	1.057	1.0555
Lebar(cm)	4.37	4.52	4.67	4.86

Densitas teoritas 0% vol bakelit

Diketahui:

Fraksi matriks PE = 40%

Fraksi matriks PET = 40%

Fraksi filler melamina = 20%

Fraksi filler bakelit = 0 %

Densitas PE = 0.78 gram/cm<sup>3</sup>

Densiats PET = 1.22 gram/cm<sup>3</sup>

Densitas melamina = 1.3 gram/cm<sup>3</sup>

Densitas Bakelit = 1.27 gram/cm<sup>3</sup>

$$\rho_t = (0.4 \times 0.78) + (0.4 \times 1.22) + (0.2 \times 1.3) + (0 \times 1.27)$$

$$= 0.312 + 0.488 + 0.26$$

$$\rho = 1.06$$

## LAMPIRAN B STANDAR DEVIASI

$$s^2 = \frac{(n \times \sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}{n \times (n - 1)}$$

s = standar deviasi

n = jumlah data

$x_i$  = nilai data ke i

### a. Uji kompresi

Bakelite (0%)	Nilai kompresi (Kn)			$\sum x_i$	$(\sum x_i)^2$	$\sum x_i^2$	Standar deviasi
	1	2	3				
0	40	42	43	125	15625	5213	1.53
5	42	45	47	134	17956	5998	2.52
10	54	51	54	159	25281	8433	1.73
15	59	63	59	181	32761	10931	2.31

### b. Uji densitas

Bake lite (0%)	Densitas			$\sum x_i$	$(\sum x_i)^2$	$\sum x_i^2$	Standar deviasi
	1	2	3				
0	1.014	1.011	1.016	3.041	9.25	3.082	0.002
5	1.01	1.009	1.013	3.032	9.19	3.064	0.002
10	1.006	1.005	1.012	3.023	9.14	3.047	0.004
15	1.0036	1.005	1.004	3.013	9.08	3.025	0.001

c. Uji porositas

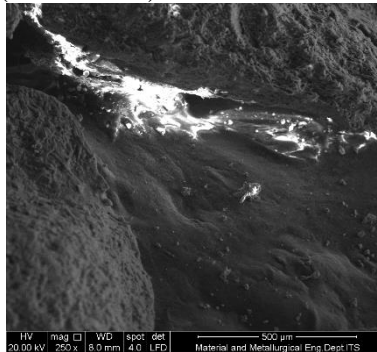
Bake lite (0%)	Densitas			$\sum x_i$	$(\sum x_i)_2$	$\sum x_i^2$	Standar deviasi
	1	2	3				
0	4.34%	4.62%	4.15%	13.11 %	1.72 %	0.57%	0.24%
5	4.58%	4.68%	4.30%	13.56 %	1.84 %	0.61%	0.20%
10	4.82%	4.92%	4.26%	14.00 %	1.96 %	0.66%	0.36%
15	4.92%	4.78%	4.88%	14.58 %	2.13 %	0.71%	0.07%

d. Uji *Water Absorbability*

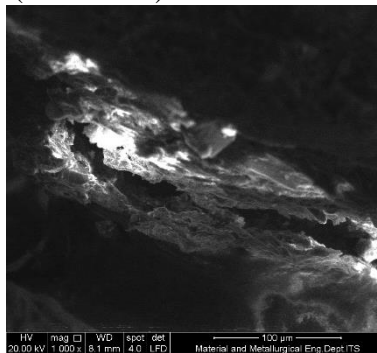
Bake lite (0%)	Densitas			$\sum x_i$	$(\sum x_i)_2$	$\sum x_i^2$	Standar deviasi
	1	2	3				
0	4.63%	1.74%	3.16%	9.54%	0.91 %	0.34%	1.44%
5	4.88%	2.75%	2.96%	10.59 %	1.12 %	0.40%	1.17%
10	3.95%	5.47%	5.71%	15.13 %	2.29 %	0.78%	0.96%
15	3.40%	2.57%	4.04%	10.01 %	1.00 %	0.34%	0.74%

## LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN SEM

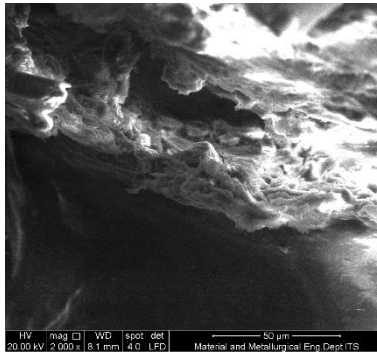
Perbesaran 200x (0% bakelite)



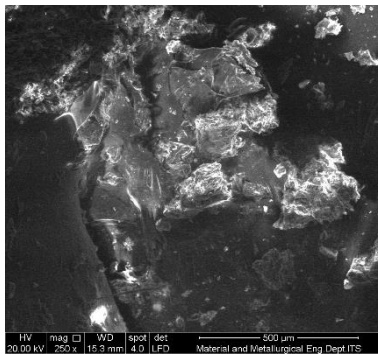
Perbesaran 1000x (0% bakelite)



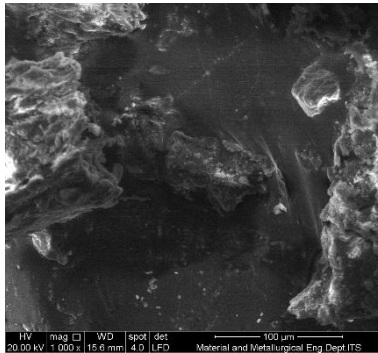
Perbesaran 2000x (0% bakelite)



Perbesaran 250x (15% bakelite)



Perbesaran 1000x (15% bakelite)



Perbesaran 2000x (15% bakelite)

